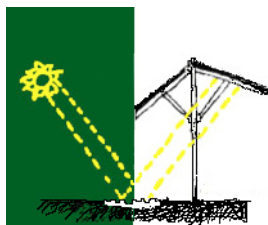


INSTITUTO DE
ARQUITECTURA
TROPICAL
COSTA RICA



CLIMATE ADJUSTED ROOF AND WALL CONSTRUCTIONS FOR INDUSTRIAL HALLS IN HUMID AND WARM CLIMATIC ZONES WITH SPECIAL CONSIDERATION OF NATURAL VENTILATION

TECHO ADAPTADO AL CLIMA Y CONSTRUCCION DE PAREDES EN
NAVES INDUSTRIALES EN ZONAS CLIMATICAS CALIDAS Y HUMEDAS
CON ESPECIAL CONSIDERACION A LA VENTILACION NATURAL

Eberhard Blankenburg



IAT EDITORIAL ON LINE





The author shows the correlations between wind direction, roof-and-wall construction, allocation as well as functional and technological utilization in special regard of humid tropical conditions.

INTRODUCTION

The export of industrial halls from the GDK to countries of the humid and warm climatic zone keeps increasing. Economic and social reasons require that the designing of roof-and-wall constructions takes place on the basis of heat insulation solar control, and protection against moisture. A mechanical transfer of central European demands on heat insulation solar control, and protection against moisture would lead to disastrous consequences.(1)

- Negative examples concerning reutilization projects supplied from Europe to the developing countries confirm this fact (2).

CLIMATE-ADJUSTED DESIGNING

It is the basic concern of climate-adjusted designing to project the structures in such a way as to ensure the indoor climatic requirements necessary for appropriate utilization without or with the lowest possible additional energetic expenditure (3). A knowledge of the local climatic conditions is the necessary prerequisite for climate-adjusted designing. The project has to take into consideration the climatic conditions existing on the site. The basic principles of climate-adjusted designing (Fig. 1) illustrate that the climatic zone determines the proper measures with regard to heat insulation and protection against noise and moisture. For the humid and warm climatic zone it is natural ventilation along with protection against insulation and rain (1). The humid and warm climate (air temperature 28° C to 35° C, air moisture 80 % to 100 H) is least compatible physiologically for man, causing strongly reduced thermal convenience. Immediate consequences are health hazards, low labour productivity and increasing industrial accidents. An efficient improvement of thermal convenience is attained by an optimal increase of air movement. At the same time technical building equipment facilities, their operation, maintenance and repair, as well as current power supply can be dispensed with if the wind is adequately used. The diminution of investment and production costs is of great economic importance.

Of the three main functions natural ventilation, protection against insulation and rain to be met by the

El autor muestra las correlaciones entre la dirección del viento, la construcción del techo y paredes, la distribución así como la funcionalidad y el uso de tecnologías considerando las condiciones tropicales húmedas.

INTRODUCCION

La exportación de naves industriales desde GDK a países de las zonas cálidas y húmedas aumenta. Razones económicas y sociales requieren que el diseño del techo y la construcción de las paredes se realice basados en el aislamiento y control del calor solar y la protección contra la humedad. Una transferencia mecánica del centro de las exigencias europeas sobre el control del aislamiento de calor solar, y la protección contra la humedad llevaría a consecuencias desastrosas. (1)

- Ejemplos negativos que conciernen la reutilización de proyectos suplidos desde Europa a los países en desarrollo confirman este hecho (2).

DISEÑOS AJUSTADOS AL CLIMA

La preocupación básica es del diseño ajustado al clima para proyectar las estructuras de tal forma que se garantice las condiciones ambientales internas necesarias para la utilización adecuada, sin o con el menor gasto posible de energía adicional (3). El conocimiento de las condiciones climáticas locales es el prerequisite indispensable para eliminar ajustes en el diseño. El proyecto debe considerar las condiciones climáticas existentes en el sitio. Los principios básicos de diseños ajustados al clima (Fig 1) ilustran que las zonas climáticas determinan las medidas correctas en relación al aislamiento y protección contra el ruido y humedad. Para las zonas de clima cálido y húmedo es la ventilación natural junto a la protección contra el sol y la lluvia (1). Este clima (temperatura del aire 28° C a 35° C, humedad relativa 80 % a 100 H) fisiológicamente es menos compatible con el hombre, causando una severa incomodidad. Las consecuencias inmediatas son peligros sanitarios, baja productividad y aumento de los accidentes laborales. Una mejora del bienestar térmico se logra aumentando el movimiento de aire. Al mismo tiempo, el deterioro de los equipos técnicos instalados, su operación, mantenimiento y reparación, así como la fuente de alimentación de corriente se puede evitar, si el viento es adecuadamente utilizado. La disminución de inversión inicial y costos de producción, es de gran importancia económica.

De las tres funciones principales ventilación natural,



climate adjusted construction in the humid and warm climatic zone natural ventilation will be focussed upon in the following.

The following measures contribute to improving insulation protection:

- overshadowing of the structures surfaces
- small absorption figures concerning short-wave radiation (depending on: the property of the materials, surface, the degree of heat storing capacity, structure and kind of material) (4)
- use of optimally applied heat insulating materials to reduce indoor surface temperatures and long-wave radiation into the inner space (5).

The low temperature amplitude (< 4 K) in humid and warm climate does not make heat storing solutions appear advisable, requiring lightweighted structures (6) which promote natural ventilation as a result of different structural measures. These are measures to increase indoor air movement and to direct air flow (Fig. 2):

- large opening areas equal on luff and lee side opposite each other produce high air movement on both opening areas;
- small luff and large lee side opening areas produce maximum air movement on the luff opening (Venturi effect).
- roof overhangs act as wind collecting areas
- the height of the luff opening in the external wall determines the direction of the indoor air movements
- the arrangement of the luff opening below the roof overhang conducts the air current to the inside of the roof (Coanda effect).

PRINCIPLES OF PROJECTING

Demands on climate-adjusted roof-and-wall construction to attain thermal convenience by natural ventilation include:

- directing the air movements to the working area and achieving optimal air velocities within the thermal convenience zone
- directing the air movements to the area below the roof and achieving maximum air velocities (reduction of the inner surface temperature on the inside of the roof)

protección de la radiación y de la lluvia, que deben lograrse en las construcciones ajustadas al clima, en las zonas cálidas y húmedas, la ventilación natural debe enfocarse en lo siguiente:

Las siguientes medidas contribuyen a mejorar la protección solar:

- sobreproteger las superficies de las estructuras
- pequeñas figuras relativas a la absorción de la radiación de onda corta (en función de: la propiedad de los materiales, la superficie, capacidad de almacenamiento de calor, de la estructura y el tipo de material) (4).
- la optimización del uso de materiales aislantes para reducir las temperaturas interiores de superficie y la radiación de onda larga en el espacio interior (5).

La baja amplitud termal (< 4 K) en climas cálidos y húmedos aparenta no ser aconsejable el almacenamiento de calor, ya que requiere de estructuras livianas (6) que promueven la ventilación natural como resultado de diferentes medidas estructurales. Estas son medidas para incrementar el movimiento del aire interno y dirigirlo (Fig.2):

- aberturas amplias en ambos lados (resguardado y expuesto) opuestos produce gran movimiento de aire en ambas áreas abiertas;
- pequeña abertura en el lado expuesto y grande en el lado resguardado, produce el máximo de movimiento de aire en la zona expuesta (efecto Venturi);
- los aleros actúan como colectores de viento;
- la altura de la abertura expuesta en la pared externa determina la dirección de los movimientos de aire internos
- la disposición de la abertura expuesta al viento, por debajo de los aleros conduce la corriente de aire en el interior del techo (efecto Coanda).

PRINCIPIOS PARA PROYECTAR

La necesidad de ajustar el techo y la construcción de paredes para alcanzar el bienestar por ventilación natural incluye:

- dirigir el movimiento del aire hacia las áreas de trabajo y alcanzar velocidades óptimas en la zona de comodidad térmica
- dirigir el movimiento de aire al área bajo el techo y alcanzar máximas velocidades (reducción de la superficie interna en el interior del techo).

PRINCIPIOS BASICOS DE DISEÑO AJUSTADO AL CLIMA

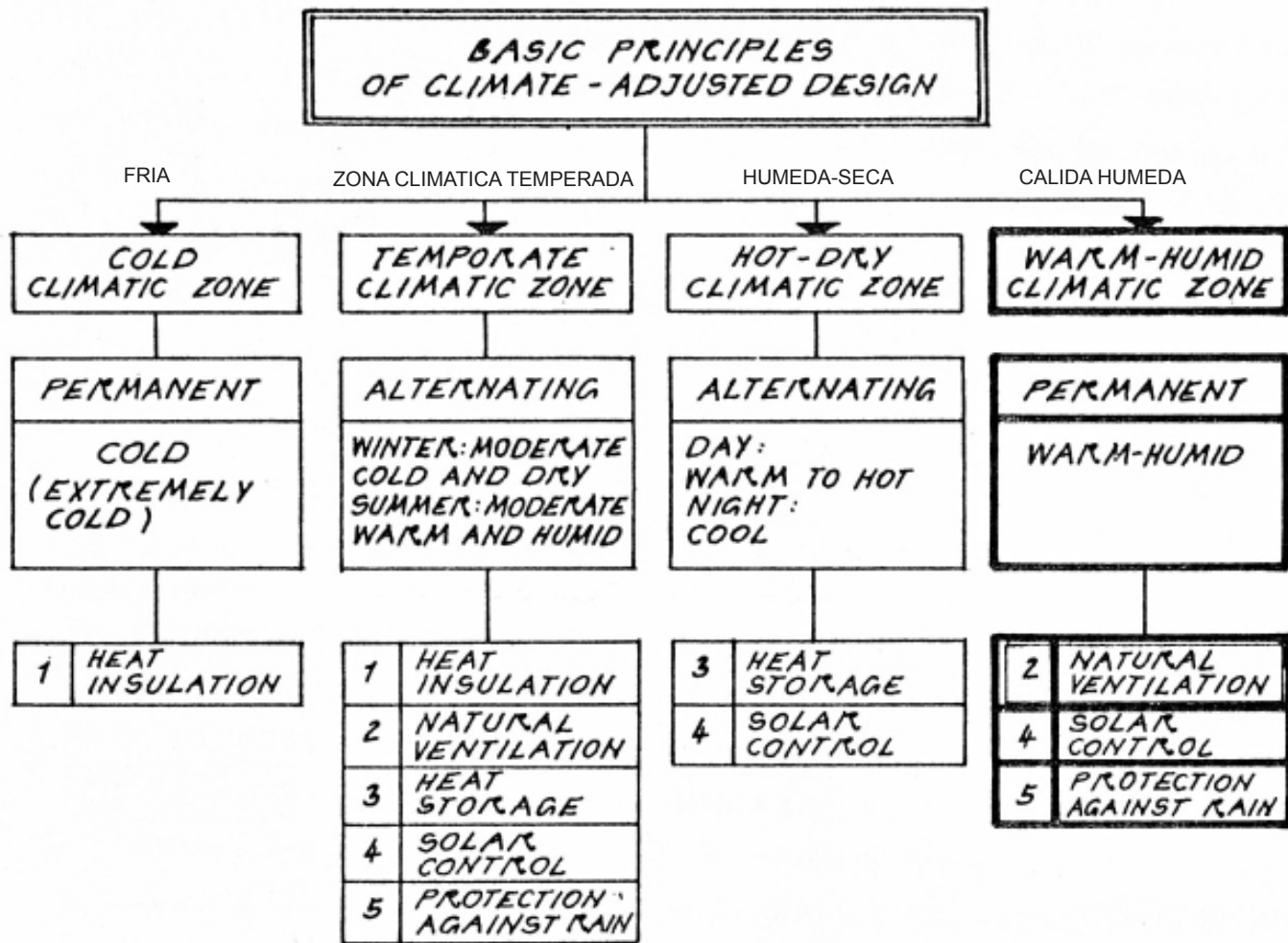


FIG. 1 BASIC PRINCIPLES OF CLIMATE-ADJUSTED DESIGN (MODIFIED AFTER [1])

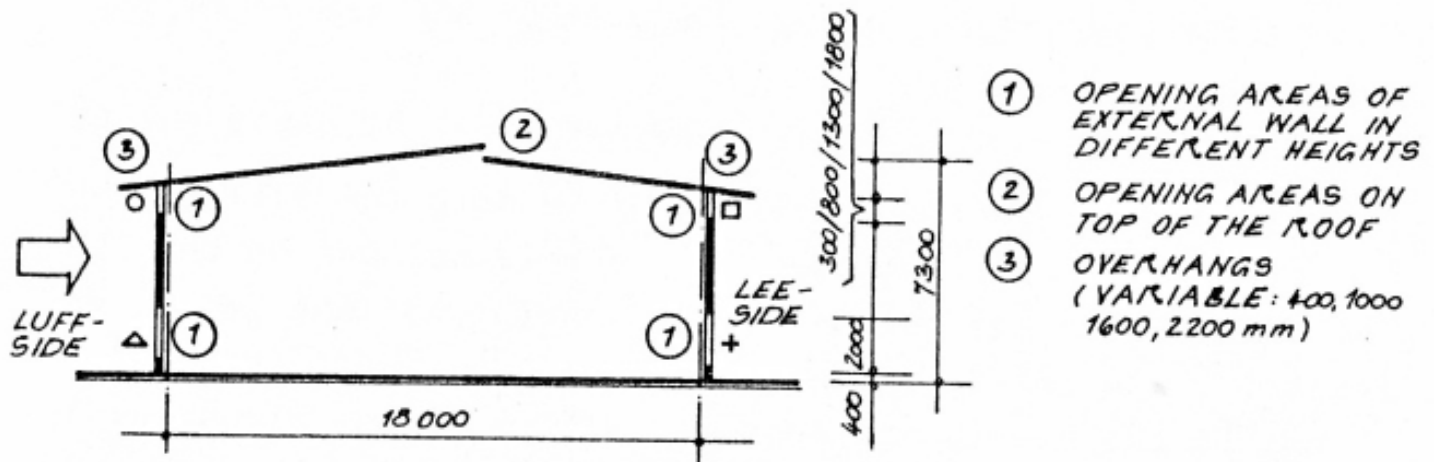


FIG. 2 MEASURES FOR BETTER NATURAL VENTILATION [9]

- allowing for the variable directions and intensities of the wind in the locating according to layout and the functional as well as the technological utilization of the industrial hall.

For the above-mentioned requirements adequate scientific findings to be used in structural designing are not available. In order to develop them experiments on air currents in models of industrial halls were carried out in the wind tunnel. The results show the effect of the structural measures on the increase or decrease of the air velocity, from which principles of projecting are derived.

ALLOCATION OF THE BUILDINGS

For the allocation of buildings in humid and warm climatic zones both the requirements for utilization of the natural air movements and those of solar protection have to be met. Due to the meteorological conditions they are contrary in part, so that an optimization of either leads to a compromise solution.

- **Solar protection:** as an ideal location of the building the position of the longitudinal external walls in north-south direction is indicated. Thus, the longitudinal external walls are afforded a maximum degree of solar protection caused by the great altitude of the sun.

- **Direction of the wind:** the longitudinal external walls of the building with the opening areas directed towards the main direction of the wind cause an optimum flow through the hall. At the same time, the view is expressed in the international literature (7, 8) that a turning of the longitudinal external walls away from the direction of the wind up to 45° affects the indoor air velocity only insignificantly, a view which, however, is not shared by all authors. This statement makes possible a larger range of variation for the allocation of the industrial hall.

OPENING AREAS OF THE EXTERNAL WALL

The location and size of the external wall openings on the luff and on the lee side of the building as well as the functional and technological utilization are decisively influenced by the direction and intensity of the wind. Typical of the humid and warm climatic zone are directions of the wind changing by approximately 180° according to the season (monsoons) and directions of the wind that remain constant (trade winds).

These meteorological conditions determine the arrangement of

- Permitir a los vientos variables en dirección e intensidad funcionar acorde con la distribución y con la utilización tecnológica de la nave industrial.

Para los requisitos mencionados anteriormente, hallazgos científicos adecuados para aplicar en el diseño estructural no están disponibles. Para desarrollarlos, realizamos experimentos en el túnel del viento con modelos de las naves industriales. Los resultados mostraron los efectos de las medidas estructurales en el aumento o disminución de la velocidad del aire, de los cuales los principios de diseño se derivan.

DISTRIBUCION DE LOS EDIFICIOS

Para la distribución de los edificios en zonas climáticas cálidas y húmedas, se requiere el uso de movimientos de aire y las protecciones solares deben lograrse. Dadas las condiciones meteorológicas en cierto modo se oponen por lo que la solución de cualesquiera conduce a una solución de compromiso.

- **Protección Solar:** como ubicación ideal para un edificio la orientación de las paredes externas longitudinales en dirección norte sur es la indicada. Así, se concede a las paredes externas longitudinales la máxima protección solar causada por la gran altitud del sol.

- **Dirección del viento:** las paredes externas longitudinales con aberturas dirigidas hacia la dirección principal del viento causa un flujo a través del vestíbulo. Paralelamente, la visión en la literatura internacional (7,8) es que un giro de 45° de la dirección del viento predominante afecta de manera insignificante la velocidad interior del viento, visión que no es compartida por la mayoría de los autores. Esta declaración hace posible una gama más amplia de variación para la distribución de la nave industrial.

AREAS ABIERTAS DE LAS PAREDES EXTERNAS

La ubicación y tamaño de las paredes externas en el lado expuesto y en el lado protegido del edificio, así como el uso funcional y técnico son influenciados decisivamente por la dirección e intensidad del viento. Típico de la zona climática cálida y húmeda son las direcciones del viento cambiantes hasta en 180° de acuerdo a la estación (monsoones) y la dirección del viento que permanece constante (vientos alisios).

Estas condiciones meteorológicas determinan planear:

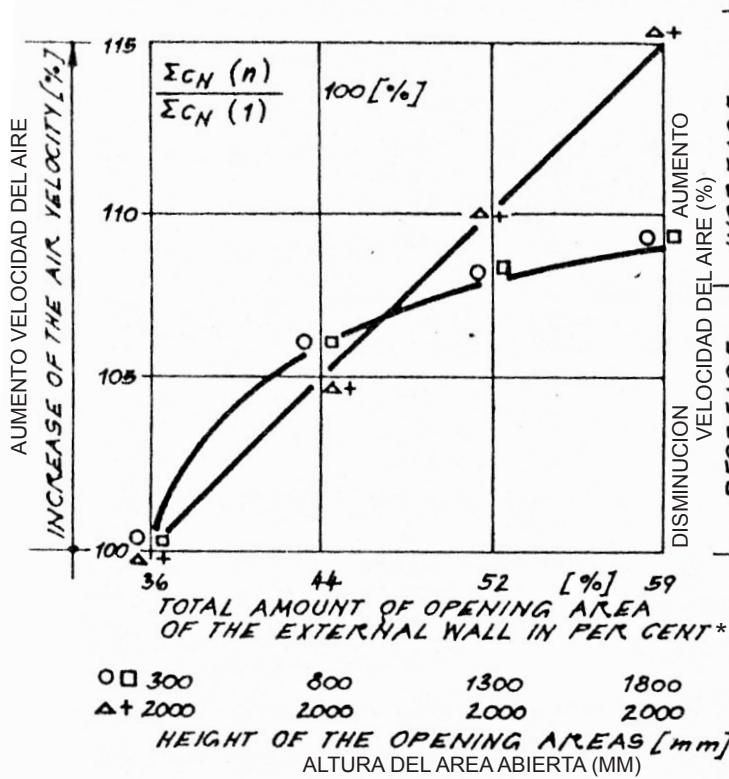


FIG. 3
INFLUENCE OF THE GEOMETRY OF THE
EXTERNAL-WALL OPENINGS ON THE AIR
VELOCITY
(THE OPENING AREAS IN THE EXTERNAL
WALLS ARE EQUAL ON BOTH SIDES-LUFF
AND LEE -, SYMBOLS: SEE FIG. 2) /9/

FIG. 3 INFLUENCIA DE LA GEOMETRIA DE LAS ABERTURAS DE LAS PAREDES EXTERNAS EN LA VELOCIDAD DEL AIRE (LAS ABERTURAS EN LAS PAREDES EXTERNAS SON IGUALES EN AMBOS LADOS EXPUESTAS = PROTEGIDAS -, (SIMBOLOS: VER FIG. 2)(9).

* TOTAL AREA ABIERTA
PAREDES EXTERNAS (%)

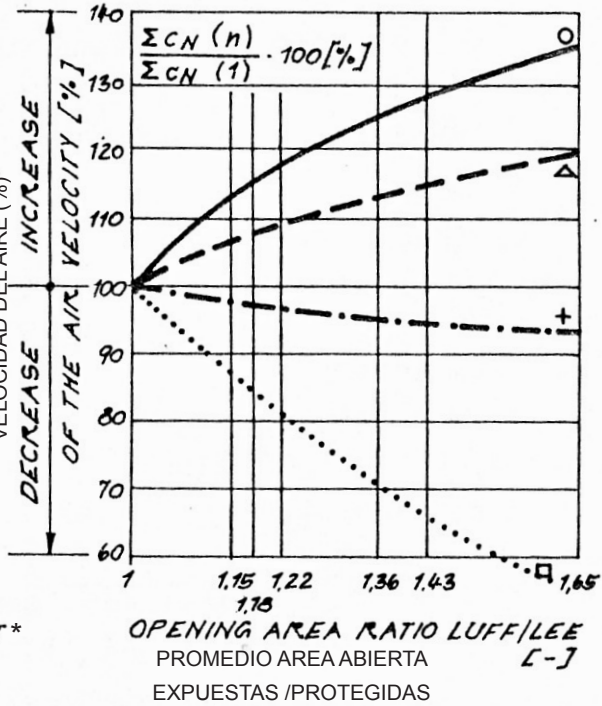


FIG. 4
INFLUENCE OF THE GEOMETRY
OF THE EXTERNAL-WALL
OPENINGS ON THE AIR VELOCITY
(OPENING AREA LUFF < OPENING
AREAS LEE OF THE EXTERNAL
WALL, SYMBOLS: SEE FIG. 2) /9/

FIG. 4 INFLUENCIA DE LA GEOMETRIA DE LAS ABERTURAS DE LAS PAREDES EXTERNAS EN LA VELOCIDAD DEL AIRE

(LAS ABERTURAS EXPUESTAS < PROTEGIDAS -, (SIMBOLOS: VER FIG. 2)(9).

- opening areas of the same geometrical size on the *luff* and on the lee side of the building
- opening areas of different *Geometrical* size on the luff and on the lee side.

Fig. 3 shows the influence of the geometry of equally large luff and lee opening areas on the air velocity. The geometrically increasing upper opening areas cause increases in air velocity on both the upper and the lower unchanged opening area. Through this measure a further increase in the air velocity for improving man's thermal convenience is made possible on the large opening areas at the level of the working area. The values of the air velocity are the same at the opposite openings. This means a directed air current between luff and lee. This variant of the arrangement of opening areas permits a workplace arrangement according to technologically optimal guidelines of the production process across the total width of the hall (Fig. 5, 7).

Equally large opening areas on luff and lee ensure comparatively constant wind velocities across the entire width even with a change of the wind by about 180°. Workingplaces and technologically required containers for material supply and intermediate storing of the final products are obstacles to the air current which slow down the air velocity. Storing in meshwire boxes instead of boxes with solid walls has but a little effect on transverse ventilation.

Fig. 4 shows the influence of opening areas which are larger on the lee side than on the exposed side. The geometrically different opening area ratio exposed side lee side uses the Venturi effect to increase the air velocity on the luff openings. In this, high air velocity values on the exposed side correspond to small ones on the lee side. This arrangement displays results of considerable importance for the extension of the thermal convenience zone in the working zone of the industrial hall. The increasing ratio of the opening areas changes not only the air velocity on the geometrically variable upper opening areas but also on the constant lower ones. In the range of the opening area ratio luff/lee from 1:1 to 1:1.65 increases in air velocity by 35% are produced on the upper luff opening and increases by 18% are caused on the lower luff opening. This version is applicable only in the case of a constant wind direction (Fig. 6).

With lee openings larger than the corresponding luff openings the Venturi effect would have an opposite effect, if the wind changes. The experimental results

- las áreas abiertas del mismo tamaño geométrico en el lado expuesto al viento y en el lado protegido.
- las áreas abiertas de diferente tamaño geométrico en el lado expuesto y en el protegido.

La Fig. 3 indica la influencia de la geometría de las amplias aberturas en los lados expuestos y protegidos en la velocidad del aire. Las aberturas geométricamente más grandes a medida que suben, causan aumento en la velocidad tanto en las aberturas altas como en las bajas. A través de esta medida, un aumento en la velocidad del aire para mejorar la conveniencia térmica del hombre es posible en las amplias aberturas a nivel del área de trabajo. Los valores de la velocidad del aire son los mismos en aberturas opuestas. Esto implica una corriente de aire dirigida entre el lado expuesto y el lado protegido. Esta variante de la distribución de las áreas abiertas permite un lugar de trabajo distribuido según guías técnicas lógicas del proceso de producción a través de la anchura total del recinto (Fig. 5, 7).

Áreas abiertas iguales en ambos lados asegura la velocidad de brisas constantes a través del total del recinto incluso con cambios del viento en 180°. Áreas de trabajo y contenedores tecnológicamente requeridos para suplir materiales y almacenar temporalmente los productos, son obstáculos para la corriente de aire porque disminuyen la velocidad del aire. Almacenar en cajas perforadas en lugar de cajas de paredes sólidas tiene un pequeño efecto en la ventilación transversal.

La Fig 4 muestra la influencia de las áreas abiertas que son más amplias en el lado protegido que en el lado expuesto. El área promedio expuesta, abierta geométricamente diferente del lado protegido, usa el efecto Venturi para aumentar la velocidad del lado expuesto. En esto, los altos valores de la velocidad del aire en el lado expuesto, corresponde a uno pequeño en el lado protegido. Esta distribución resulta de considerable importancia para la extensión de la zona de conveniencia térmica en el área de trabajo de la nave industrial. El aumento progresivo de las áreas abiertas cambia no sólo la velocidad del aire, en la variable de áreas geométricas abiertas altas, sino también en las bajas. En el rango de área abierta el promedio expuesto /protegido de 1:1 a 1:1.65 el aumento de la velocidad del aire en 35% se produce en la parte alta del lado expuesto y aumenta del 18% en el área baja de la abertura del lado expuesto. Esta versión se aplica sólo si la dirección del viento es constante. (Fig. 6).

Con las aberturas del lado protegido mayores que las

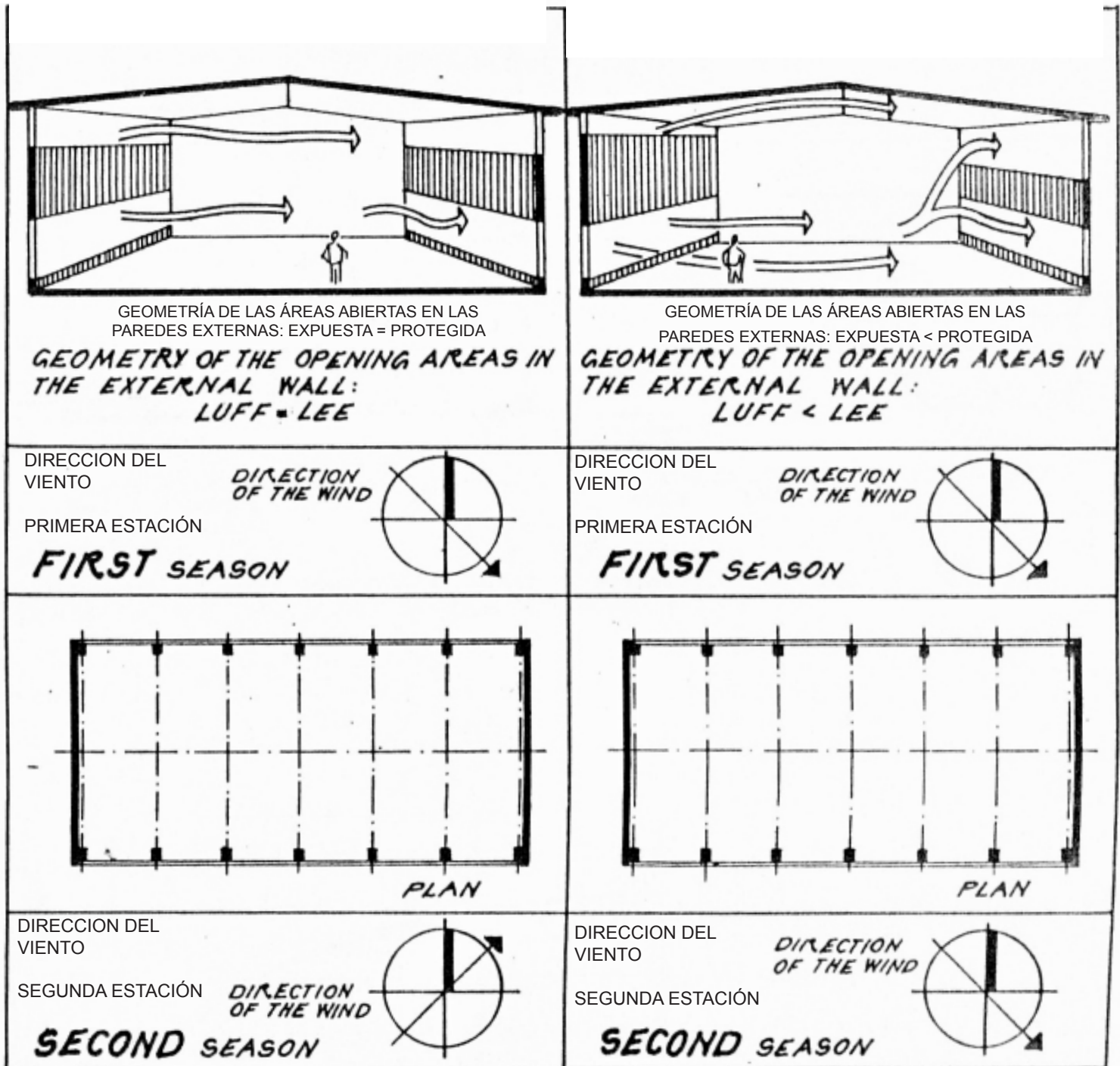


FIG. 5

FIG. 6

FIG 5/6. ALLOCATION OF THE INDUSTRIAL HALL WITH THE LAYOUT IN DEPENDENCE ON SOLAR CONTROL DIRECTION OF THE WIND & THE GEOMETRY OF THE OPENING AREAS IN THE EXTERNAL WALL (9)
DISTRIBUCIÓN DE LA NAVE INDUSTRIAL EN DEPENDENCIA DEL CONTROL SOLAR, DIRECCION DEL VIENTO Y LA GEOMETRIIA DE LAS AREAS ABIERTAS EN LAS PAREDES EXTERNAS (9).

the workplaces in the luff area of the hall and the technological side functions as well as storing in the lee area (Fig. 8).

correspondientes del lado expuesto, el efecto Venturi tendría un efecto opuesto, si el viento cambia. Los resultados del experimento demostraron la ventaja

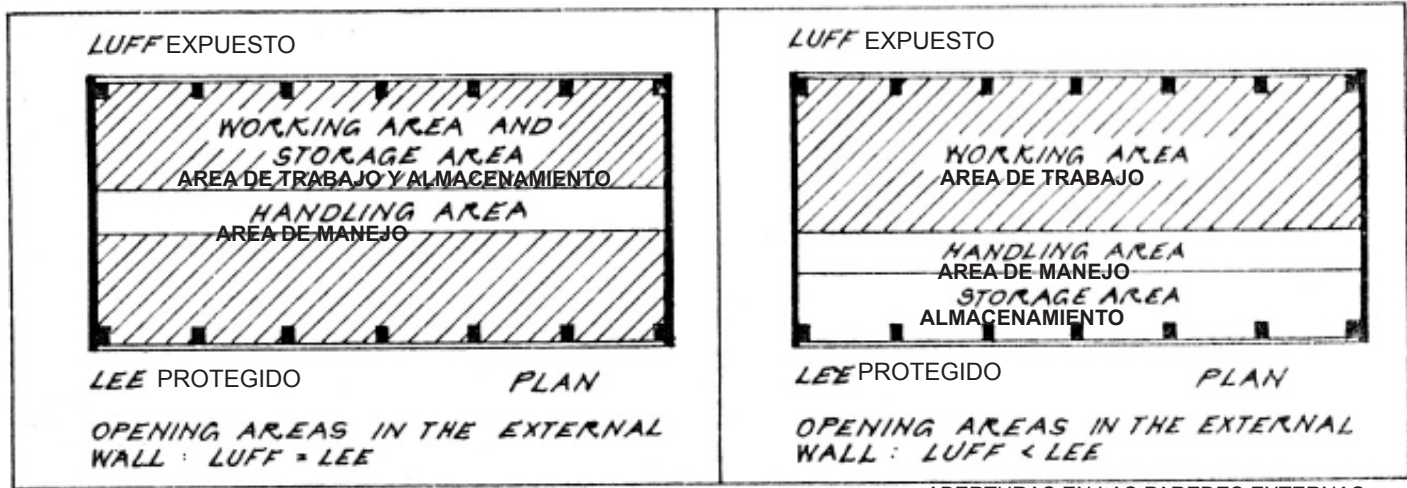


FIG. 7 ABERTURAS EN LAS PAREDES EXTERNAS EXPUESTAS = PROTEGIDAS

FIG. 8 ABERTURAS EN LAS PAREDES EXTERNAS EXPUESTAS < PROTEGIDAS

FIG. 7/8. SUGGESTIONS FOR FUNCTIONAL & TECHNOLOGICAL USE IN DEPENDENCE ON THE GEOMETRY OF THE OPENING AREAS (9). /SUGERENCIAS DEL USO TÉCNICO Y FUNCIONAL EN DEPENDENCIA DE LA GEOMETRIA DE LAS AREAS ABIERTAS (9).

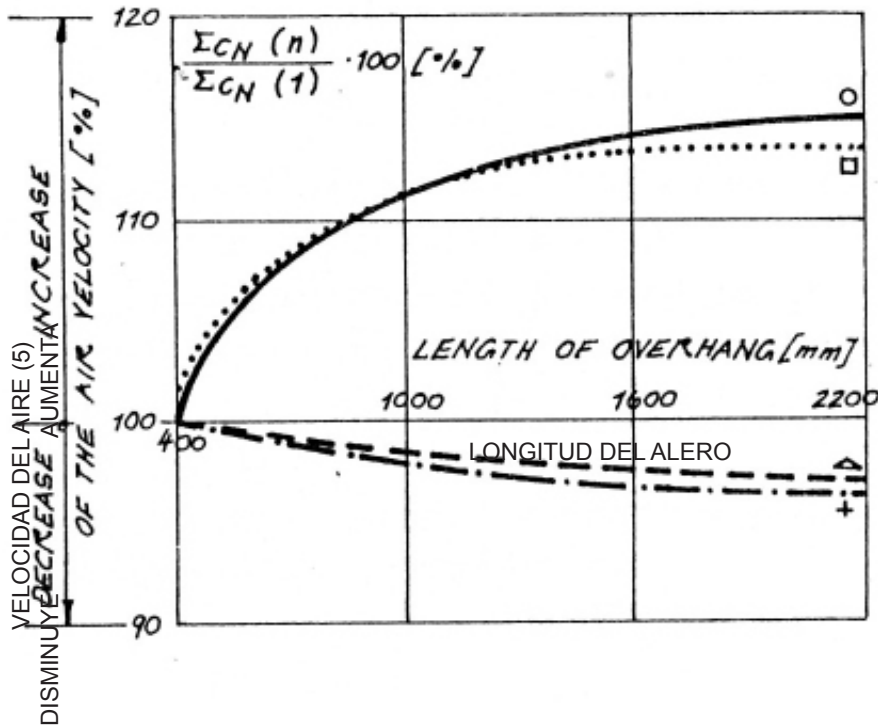


FIG. 9. INFLUENCIA DE LA GEOMETRIA DE LOS ALEROS EN LA VELOCIDAD DEL AIRE EN %. (SIMBOLOS: VER FIG. 2) (9)

FIG. 9 INFLUENCE OF THE GEOMETRY OF THE OVERHANGS ON THE AIR VELOCITY IN PER CENT (SYMBOLS: SEE FIG. 2) (9)



ROOF OVERHANG AND RIDGE OPENING

An increase in the length of the ridge overhang causes an increase of air velocity on the opening area below. By contrast, a slight reduction is found on the opening areas at the level of the working area. This effect is displayed by “models without ridge openings (Fig. 9). In arranging a ridge opening the air velocity within the working area is moderately increased (2% to 3%). The experimental results prove that roof overhang lengths greater than 1000 mm cause only slight increases in air velocity, so that about 1000 mm may be considered the optimum length, also from the viewpoint of insolation protection and of static and constructional calculation.

SUMMARY

The projecting of the roof-and-wall constructions of industrial halls in humid and warm climatic zones requires a consistent consideration of the climatic conditions. Through the location and geometry of the external wall opening areas, the ridge openings and the roof overhangs the climate-adjusted roof-and-wall construction causes an increase in air velocity and the directing of the indoor movements. Natural ventilation under humid and warm climatic conditions provides an efficient opportunity of extending man's thermal convenience area. The article shows the interrelation between wind direction, roof-and-wall construction, allocation as well as functional and technological utilization.

References

1. Klimagerechte Gebäudeplanung: Schwedisch-Deutsches Kolloquium/ Gertis, K. - In: Schriftenreihe Bau- und Wohnforschung. - Bonn, 1983 04.000. - S. 93 bis 107.
2. Planen und Bauen in Entwicklungslandern/Frauenfeld, I.; Speer, A. - Bonn, 1982 (Forschungsbericht).
3. Traditionelle Bauweisen und deren Bedeutung für die klimagerechte Gestaltung moderner Bauten: 3. Bauklimatisches Symposium/Ferstl, K. - In: Schriftenreihe der Sektion Architektur, TU Dresden, - Dresden, 1980, 16 - S. 59 bis 20.
4. Manual of tropical housing and building, Part one: Climatic design/Koenigsberger, O.H.; Ingersoll, T.G.; Mayew, A. - Szokolay, S. V. - London: Longmann, 1973.
5. Building construction in warm climates/Fullerton, R. L. - Oxford: Oxford University Press, 1979.
6. Raumlufttemperatur/Petzold, K. - VEB Verlag Technik, Berlin 1976.
7. Man, Climate and Architecture/Givoni, B. - Amsterdam: Elsevier, 1969.
8. Klimaangepaüter Wohnungsbau in Indonesien/Pandean, T. - Technische Universität Hannover, 1983 Oiss.
- 191 Klimagerechte Umhüllungskonstruktionen für Industriehallen in feuchtwarmen Klimazonen unter besonderer Berücksichtigung der natürlichen Lüftung/Blankenburg, E. - Technische Hochschule Leipzig, 1986 Diss. A

de distribuir los lugares de trabajo en los lados expuestos de la nave y las funciones tecnológicas y el almacenamiento en el lado protegido (Fig. 8).

ALEROS Y ABERTURAS ESQUINERAS

Un aumento en la longitud del alero esquinero causa un aumento en la velocidad del aire en el área abierta que está bajo éste. En contraste, una ligera reducción se produce en el área abierta a nivel de la zona de trabajo. Este efecto se despliega por modelos sin aleros esquineros (Fig. 9). En la organización de un alero esquinero la velocidad del aire en la zona de trabajo aumenta moderadamente (2% to 3%). Los resultados del experimento prueban que longitudes de aleros mayores a 1 metro sólo causan ligeros aumentos en la velocidad, así se puede considerar que 1 metro es la longitud óptima, también lo es desde la perspectiva de la protección solar y de la estática y cálculo constructivo.

RESUMEN

El diseño del techo y paredes de una nave industrial en clima húmedo y cálido, requiere de una consideración sistemática de las condiciones climáticas. A través de la ubicación y geometría de las áreas abiertas de las paredes externas, las aberturas periféricas y los aleros, la construcción del techo y paredes ajustados al clima se puede incrementar la velocidad del aire y su dirección en los movimientos internos. La ventilación natural en estas condiciones climáticas provee una oportunidad eficiente de extender el área de bienestar térmico. El artículo demuestra la interrelación entre dirección del viento, construcción del techo y paredes, distribución así como usos funcionales y tecnológicos.

Author: Dr.-Ing. Eberhard Blankenburg Technische Hochschule Leipzig Sektion Ingenieurbau





IAT EDITORIAL ON LINE

