

DETERMINACIÓN DE RÁFAGAS PARA DISTINTAS RUGOSIDADES URBANAS

Alberto Papparelli¹, Mario Cúnsulo², Eduardo Montilla³, Alejandra Kurbán⁴

AREA ARQUITECTURA AMBIENTAL
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO - U.N.S.J.
Santa Fé 198 oeste - 5400 SAN JUAN - ARGENTINA
Tel: (0264) 4202664 - E-mail: arqamb@unsj.edu.ar

RESUMEN

Se exponen resultados parciales de estudios que analizan la interrelación entre el flujo normal del aire y las ráfagas correspondientes a la misma banda horaria para diversas rugosidades urbanas. El trabajo fue desarrollado en una ciudad de latitud media localizada en la Franja Árida de América del Sur, caracterizada por altos índices de aridez y continentalidad, pudiéndose extrapolar los resultados a otras de similares características urbanas y climáticas.

Se determina la velocidad de la ráfaga en función del flujo normal del aire registrado en cada estación meteorológica y de la rugosidad correspondiente a su localización.

El trabajo aporta una herramienta relacional rápida para la determinación de las velocidades de ráfagas, fenómeno que ocasiona daños a la infraestructura aérea de la ciudad.

Los resultados han sido transferidos al organismo distribuidor del servicio de energía eléctrica en la provincia de San Juan; también serán transferidos a los Poderes de Gestión responsables del planeamiento y desarrollo urbano de la ciudad, y a los profesionales comprometidos con el diseño ambiental del hábitat humano, como aporte científico al logro de mejores condiciones de confort en áreas urbanas de zonas áridas.

Palabras clave: Zonas Áridas, Vientos, Flujo normal de aire, Ráfaga.

INTRODUCCIÓN

A los efectos del flujo normal del aire, el aumento que generalmente presenta la volumetría edilicia de una ciudad, desde la periferia hacia el centro urbano, modifica sensiblemente las condiciones de velocidad y dirección de los vientos que arriban a ésta (Bowen, 1981). El conocimiento de la estadística climática junto a la modalidad del barrido del flujo normal del aire en función de las características de la distribución de la volumetría urbana, es de sumo interés tanto para los poderes de gestión encargados del planeamiento urbano, como para las empresas concesionarias de servicios que poseen tendidos aéreos que pueden resultar afectados, para los entes de regulación del suministro de los servicios, y para los diseñadores del hábitat humano en ciudades de zonas áridas como las del área en estudio.

Por ello el objetivo del trabajo fue identificar un patrón estadístico que relacionara el flujo normal del aire con la ráfaga correspondiente para las diversas rugosidades urbanas, a través del estudio de los vientos que arriban a la ciudad de San Juan, clasificándolos conforme su velocidad y analizando particularmente los de mayor intensidad, por su grado de siniestralidad. Dicho patrón representa una herramienta operativa y práctica a la hora de determinar, contando con los datos (flujo normal del aire, ráfaga correspondiente y velocidad máxima representativa) de sólo un punto de medición, el grado de siniestro potencial que puede ocasionar el viento para una misma banda horaria en diferentes lugares de la ciudad con distintas rugosidades urbanas.

Por lo tanto se trata de obtener aquí, un método ágil de detección del viento, aplicable a otras ciudades con similares tipologías urbanas y climáticas a la estudiada, para contar con un instrumento útil y eficaz en múltiples usos tales como:

- Planificación y Diseño bioclimático a escala urbana y edilicia.
- En el caso de vientos siniestrales, otorgar a las empresas de suministro y a las entidades de control, una herramienta de validez científica respecto a la magnitud del meteoro que produjo los daños.
- Obtención de la presión dinámica unitaria en función de la localización de edificios e infraestructuras en áreas de distinta rugosidad urbana, para el cálculo estructural a la acción del viento.

¹ Docente e Inv. UNSJ - Prof. Ppal. CONICET - ² Docente UNSJ - Prof. Adj. CONICET - ³ Docente e Inv. UNSJ

CARACTERÍSTICAS URBANAS DE LA CIUDAD DE ESTUDIO

La ciudad de San Juan, está localizada a 31° 32' de latitud sur y 68° 31' de longitud oeste, en el valle de Tulúm. Su población es de $\cong 357.000$ habitantes, su extensión de 77,0 Km² y su densidad poblacional de $\cong 4.640$ hab/Km². Su casco fundacional (Siglo XVI) de 5 x 5 manzanas cuadradas de aproximadamente 10.000 m², se amplió en el siglo XIX a 9 manzanas en la dirección norte - sur y 15 manzanas en la dirección este-oeste.

Su crecimiento en el tiempo y el espacio fue modificando la cuadrícula original, extendiéndose en principio a lo largo de las principales vías de comunicación y transporte, para luego distribuirse en forma anómala y desordenadamente en sus espacios intersticiales, llevados más por los valores de la tierra que por una adecuada política de planificación urbana (Ver *Figura 1*). La determinación de la resultante del crecimiento urbano tiene actualmente una tendencia eminentemente **oeste**, siendo los sectores cardinales más ocupados el **oeste** con 15,0 Km² y el **sur** con 12,0 Km² (Papparelli et al., 2000)

La ciudad posee un clima árido mesotermal de altura, con altos índices de continentalidad (Gorzinski: 40,5) y de aridez (Penman: 0,102), un índice hídrico ($I_n = - 53,8$) y grandes amplitudes térmicas diarias y anuales. Sus vientos predominantes son del cuadrante **sur** y **sur-sureste**, con velocidades bajas y medias.

Generalmente a partir de los meses de julio y agosto, se produce un viento local denominado "Zonda" (efecto föhen), el que sopla ocasionalmente en cualquier época del año, caracterizándose por aire muy deshidratado y tórrido, con velocidades medias y fuertes ráfagas. En este período se registran las máximas temperaturas ($\leq 40,0^\circ\text{C}$), las mínimas humedades relativas ($\geq 3,0\%$) y las mínimas presiones atmosféricas ($\cong 930$ HPa). Este viento puede durar desde algunas horas hasta varios días, en este caso disminuyendo paulatinamente su velocidad, pero manteniendo las rigurosas condiciones de temperatura, humedad y presión. Posteriormente a la formación de estos centros ciclónicos, masas de aire frío provenientes del sur comienzan a circular con altas velocidades y fuertes ráfagas asociadas a tempestades de polvo y arena en suspensión (Papparelli *et al.*, 1993).

Estos vientos no obstante su corta duración, tienen una importante influencia siniestral, debido a los graves daños que se producen en la infraestructura urbana, particularmente en las aéreas, con la caída de grandes ramas o árboles completos, cortando los tendidos de redes y produciendo desperfectos en el equipamiento urbano en general, especialmente en aquellos que conducen la energía eléctrica regional. Debido a que estos vientos se producen generalmente durante el invierno, generan además la disminución de la temperatura efectiva, lo cual aumenta el discomfort higrotérmico.

OBTENCION Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Bandas Urbanas Características y Rugosidad Urbana

Las características volumétrico-espaciales de la ciudad presentan condiciones de rugosidad que aumentan en forma directamente proporcional a la densidad edilicia de la misma (Konya, A., 1980). Estas condiciones de rugosidad creciente de la periferia hacia el centro ejerce importantes efectos en el comportamiento del flujo normal del aire y de sus ráfagas, modificando sensiblemente las condiciones de velocidad y dirección del mismo (Givoni, 1984).

Se correlacionaron las diversas rugosidades urbanas con el comportamiento del flujo normal del aire, por medio de las Bandas Urbanas Características obtenidas del análisis de la modalidad de ocupación del suelo urbano de la ciudad. Se definen como Bandas Urbanas Características (BUC), aquellas áreas homogéneas y continuas del ejido urbano con índices urbanísticos de similar valor, los que identifican su condición territorial y su estado de situación espacial; quedan comprendidas entre dos líneas representativas de Factor de Ocupación del Suelo (FOS), las que actuando como límites, determinan una superficie circunvalar al centro principal de la ciudad (Ver *Figura 1*). Estas bandas están definidas por los siguientes índices urbanísticos: Factor de Ocupación del Suelo (FOS), Densidad Edilicia (DE) y Canopia Urbana (CU).

Las diferentes rugosidades urbanas que presenta la ciudad de San Juan, fueron analizadas en función de la existencia de las 4 BUC: Eminentemente Urbana, Urbana, Suburbana y No Urbana (Papparelli et al., 2000), resultando tres categorías de rugosidad:

- Alta Rugosidad se corresponde con la Banda Eminentemente Urbana.
- Media Rugosidad con las Bandas Urbana y Suburbana.
- Baja Rugosidad con la Banda No Urbana.

Localización de estaciones meteorológicas

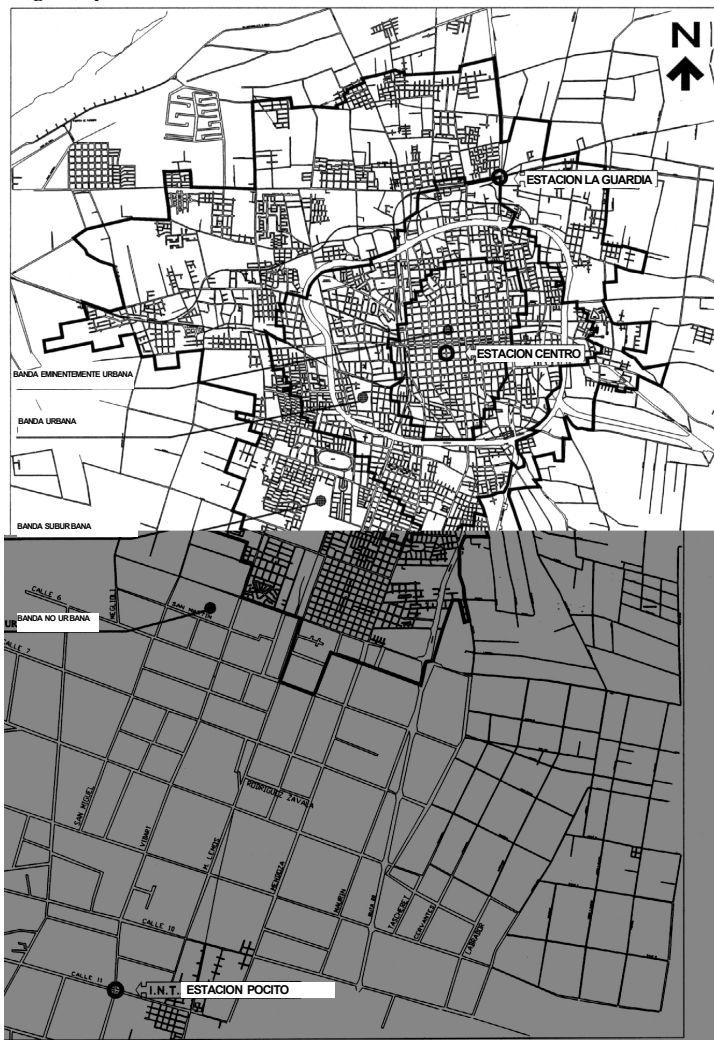
Las estaciones meteorológicas fueron localizadas en zonas de diferentes condiciones de rugosidad: Alta, Media y Baja y en distintas orientaciones cardinales, a fin de contar con datos de vientos que permitieran ser contrastables entre sí y correlacionar la modalidades de su comportamiento.

Las estaciones meteorológicas digitales con sensores de dirección y velocidad de vientos, se localizaron según el siguiente detalle (Ver *Figura 1*):

- Estación Meteorológica CENTRO: Dpto. Capital (**centro** de la ciudad)
Ubicada en la Banda Eminentemente Urbana (Banda E.U.)
Rugosidad Alta o Densidad Edilicia ≥ 15.000 m³/Ha

- Estación Meteorológica GUARDIA: Dpto. Capital (3,5 Km. al **norte** de la ciudad)
Ubicada en la Banda Suburbana (Banda S.U.)
Rugosidad Media o Densidad Edilicia $\geq 5.000 \text{ m}^3/\text{Ha}$
- Estación Meteorológica INTA: Dpto. Pocito (14 Km al **sur** de la ciudad)
Ubicada en la Banda No Urbana (Banda N.U.)
Rugosidad Baja o Densidad Edilicia $\leq 1.500 \text{ m}^3/\text{Ha}$

Registro y Medición de vientos



Para clasificar los vientos se adoptó como base la escala internacional de Beaufort (Bowen, 1981), manteniendo la modificación del Servicio Hidrográfico Italiano (S.H.I.), la cual diferencia 12 tipos, siendo el 1°: Calma: 0,0 Km/h y el 12°: Huracán $\geq 117,0 \text{ Km/h}$. Para este estudio se propuso una categorización de los vientos fundamentada en la escala anterior, pero desdoblado la tipificación entre **brisas** y **vientos**, en función de sus velocidades representativas. Para el análisis de las bandas horarias en las cuales los flujos normales del aire se convierten en potencialmente siniestrales, se fijó una velocidad referencial límite de corte con valores iguales o mayores a 40,0 Km/hora (valor inicial de la Brisa Fuerte), debido a que en función de consideraciones empíricas, superada esta velocidad, comienzan a producirse deterioros en el tendido de las redes aéreas.

Elaboración de la base de datos

Se procedió a la búsqueda de velocidades de vientos en las estaciones meteorológicas ubicadas en zonas de Rugosidad Media y Rugosidad Baja, que fueran mayores o iguales a 40,0 Km/h, adoptando la banda horaria de 30 minutos, 5 minutos antes y 25 minutos después de fijada la velocidad referencial. Obtenida su hora de arribo y en función de la distancia al centro urbano principal y la velocidad referencial, se calculó el entorno horario para la búsqueda de la muestra testigo en la estación Centro (Rugosidad Alta), que se corresponde con las otras 2 estaciones mencionadas, adoptándose aquí también una banda horaria de 30 minutos.

Figura 1: Bandas Urbanas Características y localización de estaciones meteorológicas

Para contar con una mayor nube de puntos que permitieran ejecutar modelos generalizados del comportamiento del sistema, también fueron registrados vientos hasta un mínimo de 20 Km/h, en el entorno horario a la misma banda horaria analizada. La base de datos quedó conformada con un total de 60 bandas horarias, distribuidas: 900 muestras-testigo en área de Rugosidad Alta, 180 en área de Rugosidad Media y 720 en área de Rugosidad Baja.

RESULTADOS

Los resultados que se presentan son parciales y constituyen los primeros obtenidos en un programa de investigación plurianual del cual se ha concluido el primer año de estudio.

- Para poder correlacionar las velocidades del flujo normal del aire y de su correspondiente ráfaga en áreas con rugosidad alta, media y baja, se construyeron curvas de ajuste potencial. Estas curvas con sus respectivas ecuaciones se presentan en la **Figura 2**, constituyendo una herramienta útil y práctica para determinar la velocidad de ráfaga, contando con la velocidad del flujo normal del aire en la periferia urbana.

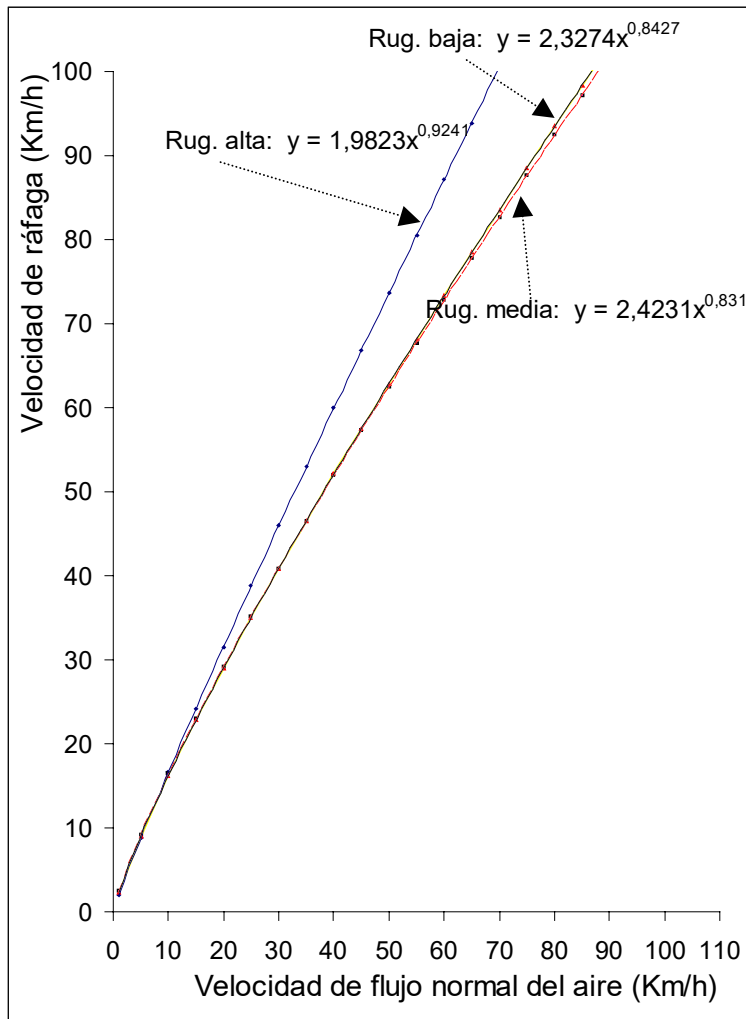


Figura 2: Curvas de Correlación entre velocidad de Flujo Normal del Aire y Ráfaga

- Fijando la velocidad del flujo normal del aire para una determinada rugosidad ("x"), se puede determinar la velocidad estimada de la ráfaga ("y"), para la misma Banda Urbana (Ver *Figura 2*).
- Las *Tablas 1, 2 y 3* presentan los valores calculados de velocidad de ráfaga para las distintas rugosidades urbanas, para una serie de valores de velocidad del flujo normal del aire en la misma Banda Urbana. Para este cálculo se utilizaron las ecuaciones de las curvas modelizadas de ajuste potencial de la *Figura 2*.

TIPO DE VIENTO	VELOCIDAD (Km/h)													
Flujo Normal del Aire (Km/h)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Ráfaga (Km/h)	8,8	16,6	24,2	31,6	38,3	45,9	53,0	59,9	66,8	73,7	80,4	87,2	93,9	100,5
Porcentaje de Aumento (%)	75,4	66,4	61,4	57,9	55,3	53,1	51,3	49,8	48,5	47,3	46,2	45,3	44,4	43,6

Tabla 1: Correlación entre Flujo normal del aire y Ráfaga en área de Rugosidad Alta

TIPO DE VIENTO	VELOCIDAD (Km/h)													
Flujo Normal del Aire (Km/h)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Ráfaga (Km/h)	8,9	15,7	21,8	27,6	33,1	38,5	43,7	48,7	53,6	58,5	63,2	67,9	72,5	77,0
Porcentaje de Aumento (%)	77,5	56,5	45,4	38,0	32,6	28,3	24,7	21,7	19,2	16,9	14,9	13,1	11,5	10,0

Tabla 2: Correlación entre Flujo normal del aire y Ráfaga en área de Rugosidad Media

TIPO DE VIENTO	VELOCIDAD (Km/h)													
Flujo Normal del Aire (Km/h)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Ráfaga (Km/h)	9,0	16,2	22,8	29,1	35,1	40,9	46,6	52,1	57,5	62,9	68,2	73,3	78,5	83,5
Porcentaje de Aumento (%)	80,7	62,0	52,0	45,3	40,3	36,3	33,0	30,3	27,9	25,8	23,9	22,2	20,7	19,3

Tabla 3: Correlación entre Flujo normal del aire y Ráfaga en área de Rugosidad Baja

Para el cálculo de velocidades intermedias a las presentadas en las **Tablas 1, 2 y 3**, se puede recurrir a la interpolación de los valores buscados o utilizar las ecuaciones de las curvas modelizadas de ajuste potencial de la **Figura 2**. En base a los valores obtenidos en las **Tablas 1, 2 y 3**, se graficaron curvas modelizadas de correlación entre las distintas rugosidades urbanas (Ver **Figura 3**)

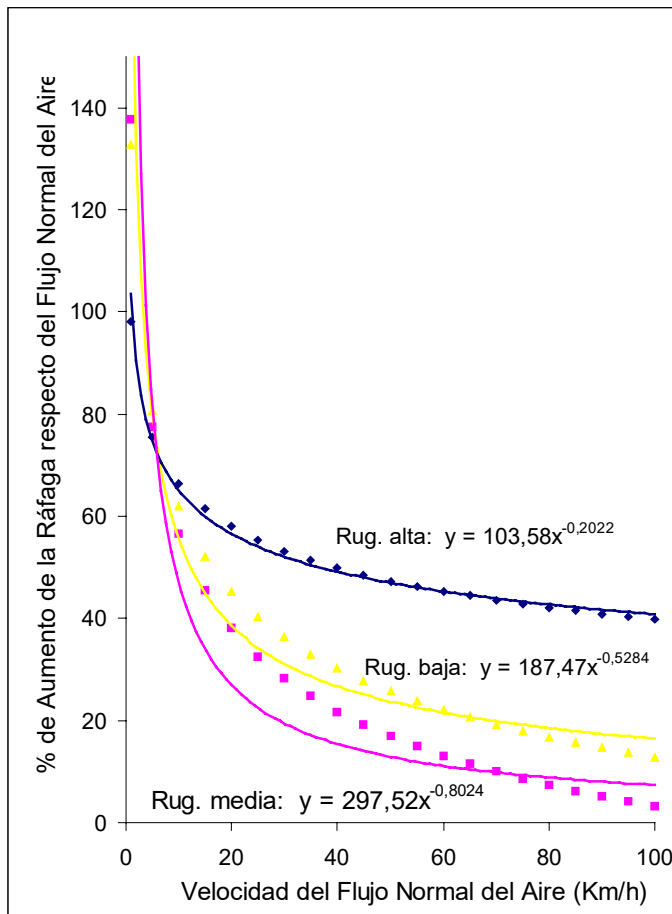


Figura 3: Porcentaje de aumento a aplicar a la velocidad del Flujo normal del aire para obtener la velocidad de la ráfaga

CONCLUSIONES

Con el incremento de la velocidad de flujo del aire, se manifiestan diferentes comportamientos:

- Hasta los 10 Km/h la relación entre el flujo normal y la ráfaga tiene un comportamiento muy similar para las tres rugosidades, siendo la correspondiente a la rugosidad media, la de mayor valor.
- Entre 10 Km/h y 30 Km/h, se verifica un comportamiento inverso, presentando velocidades de ráfaga crecientes con la rugosidad, esto es que a mayor rugosidad, corresponde una mayor velocidad de ráfaga.
- En velocidades mayores a 30 Km/h las ráfagas para rugosidades medias y bajas son similares entre sí, diferenciándose marcadamente de las ráfagas de rugosidad alta.
- Para altas velocidades de flujo normal de aire (más de 80 Km/h), en rugosidades bajas y medias, las ráfagas se hacen muy similares al flujo normal, mientras que aumentan progresiva y notoriamente en rugosidades altas.

Para una velocidad de flujo normal de aire igual o menor a 6 Km/h, el porcentaje de incremento de la ráfaga es igual para las tres rugosidades urbanas.

Cuando la velocidad del flujo normal de aire supera los 10 Km/h, el porcentaje de incremento de las ráfagas es marcadamente mayor en rugosidades altas, intermedia en rugosidades bajas y de menor valor en rugosidades medias.

Hasta los 65 Km/h del flujo normal de aire, el porcentaje de aumento de velocidad de ráfaga en rugosidades bajas es el doble del porcentaje de aumento en rugosidades medias y en el caso de rugosidades altas es el doble del porcentaje de aumento que para rugosidades bajas.

REFERENCIAS

- Bowen, A. (1981). Clasificación de air motion systems and patterns. *Passive Cooling. International Passive and Hibryd Cooling Conference. Miami Beach.*
- Givoni, B. (1984) Design for climate in hot dry cities. *Urban climatology and its applications with special regard to tropical areas, Proceedings of the Technical Conference.*, 487-513
- Konya, A. (1980). Diseño en Climas Cálidos, Manual Práctico. Ediciones Blume, Madrid.
- Papparelli A., et al (2000) Características de la Distribución Espacial en la Ciudad de San Juan. 2º Edición .Edit. FAUD - UNSJ. San Juan
- Papparelli, A., et al (1993) Arquitectura y Clima en Zonas Aridas. Editorial FUNSJ, 1º Edición 1993. 2º Edición en Prensa. Edit. UNSJ, San Juan, Argentina.

ABSTRACT

Partial results of studies carried out to analyze the interrelation between the normal flow of the air and the gusts corresponding to the same hour band for diverse urban ruggedness are exposed. The work was developed in a city of middle latitude located in the arid fringe of Southamerica. This location is, characterized by its high indexes of aridity and continentality, and its results can be extrapolated to others of similar urban and climatic characteristics.

Was determined the gust speed in function of the normal airflow registered in each meteorological station and the ruggedness corresponding to its localization.

The paper gives a practical tool for the determination of the gusts, meteorological phenomenon that potentially causes the damages to the aerial infrastructure of the city.

The results have been transferred to the organism responsible of the electric power distribution in San Juan's county: they will also be transferred to the Administration Powers responsible for the development and urban planning of the city and to the professionals committed with the environmental design of the human habitat and represents a scientific contribution to the achievement of better conditions of comfort in urban areas of arid zones.

Keywords: Arid zones, Winds, Normal airflow, Gust.