



Libertad y Orden

REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

Atlas

de Viento y Energía Eólica

de Colombia



Libertad y Orden

REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

UNIDAD DE PLANEACIÓN
MINERO ENERGÉTICA

UPME



ÁLVARO URIBE VÉLEZ, Presidente de la República de Colombia

MINISTROS DEL RAMO

Luis Ernesto Mejía Castro, Ministro de Minas y Energía
Sandra Suárez Pérez, Ministra de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

INTEGRANTES DEL EQUIPO DE TRABAJO

IDEAM

Carlos Costa Posada, Director General
Maximiliano Henríquez Daza, Subdirector de Meteorología
José Franklyn Ruiz Murcia, Físico, Especialista y Msc Meteorología

UPME

Carlos Arturo Flórez Piedrahíta, Director General
Alberto Rodríguez Hernández, Subdirector de Planeación Energética
Henry Josué Zapata Lesmes, Físico

PROFESIONALES DE APOYO

IDEAM

Jeimmy Yanelly Melo Franco, Ing. Sistemas, Especialista en Informática y Msc Meteorología
Emperatriz Español Palacios, Estadístico
Olga Cecilia González Gómez, Ing. Geógrafo
Esperanza Pardo Pardo, Ing. Agrónomo, SIG

CONSULTORES

ESPECIALISTA

Jorge Anibal Zea Mazo, Meteorólogo

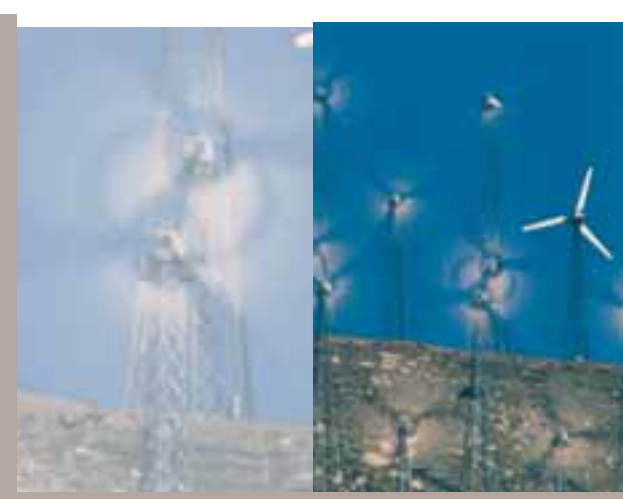
TÉCNICOS DIGITADORES

Angélica Galeano Díaz
José Álvaro Fajardo Arévalo
Avelino Suárez Rubio
Germán Andrés Franco Aguirre
Jorge Alonso Semma
Lázaro Supelano Castelblanco
Andrés Riaño Flechas
Moisés Valencia Valencia
Zulma Inés Albarracín Morales
Kate Katherine Polo Hernández
Carlos Ramón Albarracín Ramírez
Claudia Johanna Caro Monroy
José Manuel Rojas Hidalgo
Daniel Augusto Galán Garzón
Araminta Vega Burgos
Manuel Peña Hurtado

El presente documento se apoyó en estudios, datos e información suministrados por entidades como el IDEAM, CENICAFE, CAR, SENAMI y MRI.

Agradecimientos

Agradecimientos



Se hace un reconocimiento al apoyo de las oficinas administrativas y jurídicas y en general a los funcionarios y ex funcionarios de la UPME y el IDEAM que participaron en este proyecto, sin cuyo aporte no hubiese sido posible la realización del Atlas.

Asimismo, se hace un reconocimiento al Dr. Álvaro Pinilla, profesor de la Universidad de los Andes, al Msc Julio Mario Rodríguez, ex docente de la Universidad Nacional de Colombia y al Ing. Mecánico Luis Carlos Romero, de UPME, por sus oportunos y valiosos aportes. De igual manera a las entidades que han recopilado y generado información climática de dirección y velocidad del viento:

CAR

José Agustín Cortés Gómez, Subdirector de Patrimonio Ambiental
Humberto Hernández Roa

CENICAFE

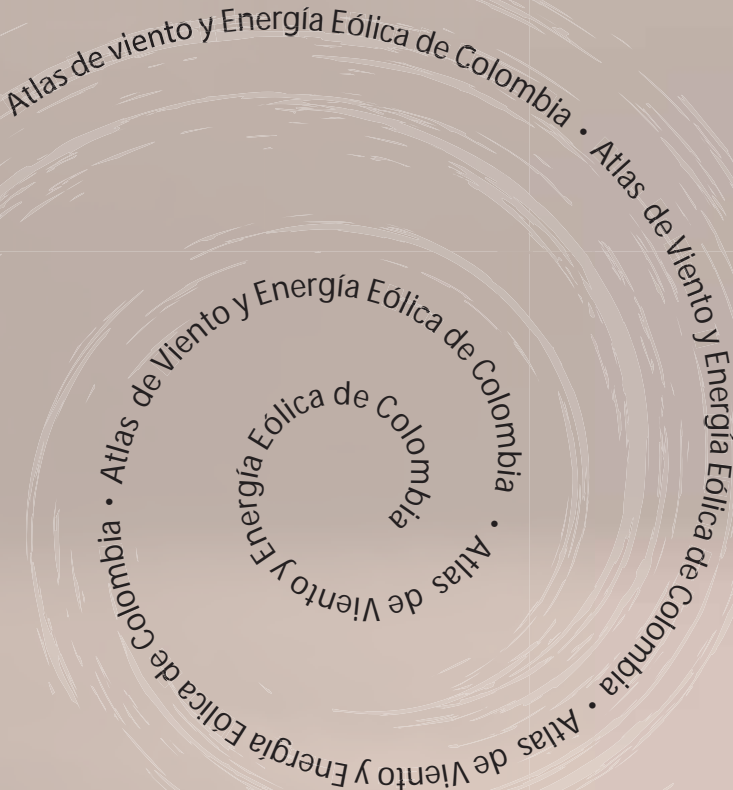
Orlando Guzmán Martínez, Ingeniero Agrónomo y Agrometeorólogo.

METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE – MRI (JAPÓN)

Dr. Hiroki Kondo, Director del Departamento de Investigaciones Climáticas de MRI

SENAMI (PERÚ)

Mayor General FAP Juan Oviedo Motta, Jefe de SENAMI
y Representante Permanente de Perú ante la OMM

A graphic consisting of a spiral of thin white lines, starting from a central point and expanding outwards. The text 'Atlas de viento y Energía Eólica de Colombia' is written along the spiral's path, following its curve.

Atlas de viento y Energía Eólica de Colombia • Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia • Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia • Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia • Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia

Contenido

Contenido



PRÓLOGO	7
ATLAS DE VIENTO Y ENERGIA EÓLICA DE COLOMBIA	8
Introducción	11
Estructura del Atlas	11
Etapas del trabajo	13
Resultados	14
Conclusiones	15
Recomendaciones	16
¿Cómo utilizar los mapas de viento y densidad de energía eólica?	16
CAPÍTULO I. VELOCIDAD DEL VIENTO EN SUPERFICIE	19
CAPÍTULO II. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN SUPERFICIE	35
CAPÍTULO III. SESGO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN SUPERFICIE	49
CAPÍTULO IV. DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN ZONAS CON MAYOR APROVECHAMIENTO DE POTENCIAL EÓLICO	63
CAPÍTULO V. DENSIDAD DE ENERGÍA EÓLICA A 20 Y 50 METROS DE ALTURA	75
ANEXO 1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE VIENTOS EN LA ATMÓSFERA	105
1.1 Los orígenes del viento	105
1.2 Presión atmosférica	105
1.2.1 La presión con la altura	106
1.2.2 Isobaras	106
1.2.3 Presión observada a nivel del mar	107
1.2.4 Superficies de presión constante	107
1.2.5 Presión y temperatura	108
1.2.6 Centros de alta presión	108
1.2.7 Centros de baja presión	109
1.3 Fuerzas que modulan el viento	109
1.3.1 Fuerza del gradiente de presión	109
1.3.2 Fuerza de coriolis	101
1.3.3 Fuerza de fricción	112
1.3.4 Vientos locales	114

1.4	Factores que afectan el viento en Colombia	119
1.5	Variabilidad espacio-temporal	120
	Bibliografía	122
ANEXO 2. MEDICIÓN, PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y RED DE ESTACIONES QUE MIDEN VIENTO EN COLOMBIA		123
2.1	Criterio para la medición del viento	123
2.1.1	Velocidad del viento	124
2.1.2	Dirección del viento	124
2.2	Medición y unidades	124
2.3	Utilidad de la variable	126
2.4.	Procesamiento de la información de vientos para el Atlas Eólico Nacional	127
2.4.1	Evaluación gráficas	128
2.4.2	Estaciones básicas para la medición del viento	129
2.4.3	Red de estaciones para Atlas Eólico Nacional	129
	Bibliografía	133
ANEXO 3. MODELOS ESTADÍSTICOS APLICADOS A LOS DATOS DE VIENTO		135
3.1	Metodología para la estimación de datos faltantes en las series mensuales de la variable: dirección y velocidad del viento	135
3.2	Descripción del modelo	135
3.3	Construcción del modelo	135
3.3.1	Identificación del modelo	135
3.3.2	Estimación de los parámetros involucrados en el modelo	136
3.3.3	Criterios para validación del modelo	136
3.4	Estimación de datos faltantes	136
3.5.	Análisis probabilístico de la información de la velocidad del viento	138
3.5.1	Análisis descriptivo de la información horaria	138
3.5.2	Distribuciones de probabilidad empírica	138
3.5.3	Modelo de probabilidad Weibull y prueba de bondad de ajuste	139
3.5.4	Aplicaciones en la información horaria y mensual	139
3.5.5	Distribución de frecuencias de la velocidad del viento	140
3.6	Resultados de los parámetros alfa y beta	143
	Bibliografía	148
ANEXO 4. MODELAMIENTO FÍSICO DEL VIENTO Y LA ENERGÍA EÓLICA		149
4.1	Metodología para el Atlas de Viento	150
4.2.	Interpolación espacial del viento	152
4.3	Corrección del viento horizontal por orografía	154
4.4	Caracterización estadística del viento	159
4.5.	Metodología usada para el cálculo de la energía eólica	160
4.6.	Estimación de incertidumbres para el cálculo de la densidad de energía eólica	167
	Bibliografía	168

Prólogo

Prólogo



El ser humano ha ido demandando cada vez más energía para su desarrollo, la mayoría de ella generada a partir de combustibles fósiles contaminantes, que contribuyen al efecto de invernadero y al cambio climático. En los últimos años las energías renovables han estado cada vez más presentes pero su uso es aún limitado en la mayoría de los países.

Hoy en día es imposible vivir sin energía. Es requerida para iluminación de vías y viviendas, la calefacción y refrigeración, la cocción de alimentos, en la comunicación y el transporte y, en general, en las diversas actividades humanas. Al igual que en la satisfacción de estas demandas, se hace también imperioso avanzar hacia el logro de un mundo menos contaminado en cumplimiento de las metas del llamado desarrollo sostenible, que nos va a permitir dejarles a las nuevas generaciones las mejores condiciones ambientales para que la vida continúe sin tantas dificultades y contingencias y sin peligro para la misma supervivencia de los seres vivos y su propio hábitat.

Las fuentes renovables de energía, como la eólica, se constituyen hoy en día en valiosos recursos más limpios que los originados en las fuentes fósiles. Estos recursos son cada vez más competitivos, en especial si se toma en consideración que permiten augurar ese desarrollo más sostenible en la Tierra. Colombia, por su posición en la franja tropical, con gran variabilidad en la estructura física de sus cordilleras y por su localización frente al mar Caribe y al océano Pacífico, adquiere una condición privilegiada en recursos renovables de energía como la asociada con el viento.

El Gobierno Nacional, al tomar en consideración su responsabilidad en lograr un desarrollo social y económico que permita conservar el medio ambiente en sus mejores condiciones de equilibrio sostenible, ha materializado en buena parte su gran interés en este tema a través de la Ley 697 de 2001 en la cual se ordena la realización de inventarios nacionales de los recursos energéticos renovables con que cuenta el país, con el fin de conocer las potencialidades en esa materia.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, y la Unidad de Planeación Minero Energética, UPME, en un esfuerzo conjunto han elaborado el presente Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia, que ponen a disposición de toda la sociedad y, en especial, de los planificadores y de los tomadores de decisiones en programas y proyectos de desarrollo energético nacional y regional.

Carlos Arturo Flórez Piedrahíta
Director General
Unidad de Planeación Minero Energética
UPME

Carlos Costa Posada
Director General
Instituto de Hidrología, Meteorología
y Estudios Ambientales, IDEAM



Atlas de viento y Energía Eólica de Colombia • Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia • Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia

Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia • Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia • Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia

Energía Eólica de Colombia

Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia • Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia • Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia