

Desarrollo de software para determinar flujo, velocidad, altura de capa de mezcla, estabilidad atmosférica y tasa de emisión de contaminantes en fuentes fijas

Software development to determine flow, speed, mixing-layer height, atmospheric stability and rate of pollutant emission at stationary sources

Dagoberto Rodríguez-Valdés¹, Liuben Echevarría-Pérez¹
Oswaldo Adolfo Cuesta-Santos², Almara Sánchez-Díaz³

Resumen

Objetivo: Desarrollar un software que calcule el flujo, velocidad, altura de la capa de mezcla, estabilidad atmosférica y tasa de emisión de contaminantes.

Materiales y métodos: La etapa de diseño se realizó mediante la herramienta Rational Rose, comenzando por la ingeniería del software, mostrándose los diagramas de casos de uso y luego el diseño de la base de datos. Se hizo la etapa de implementación de la base de datos con el gestor ACCESS y de la interfaz de usuario, con la herramienta de programación Delphi 6. Se muestran los procedimientos de cálculos de flujo, velocidad, altura de capa de mezcla, estabilidad atmosférica y emisión de contaminantes. Para aplicar el software se utilizó los datos tecnológicos de las fuentes fijas de las ciudades de Pinar del Río y de Santa Lucía y los datos meteorológicos de superficie se obtuvieron del Centro Meteorológico Provincial de Pinar del Río.

Resultados: Se obtuvo un software que presenta diferentes ventanas con funciones específicas. El formulario Fuentes Contaminantes, muestra registrada las fuentes de las ciudades de Pinar del Río y Santa Lucía. Este formulario genera los reportes donde aparecen incluidos los cálculos de flujo, velocidad, altura de la capa de mezcla, estabilidad atmosférica y emisión de contaminantes. La ventana Datos de Fuente, permitió registrar los datos tecnológicos de las fuentes fijas. Las demás ventanas del software realizan funciones auxiliares para ayudar el funcionamiento del mismo.

Conclusiones: El software constituye un paso de avance en estudios de calidad del aire en Cuba, pues permite obtener inventario de emisiones de contaminantes por fuentes fijas, aplicar los actuales modelos de calidad del aire DISPER, ISCST3, AERMOD y CALPUFF y realizar estudios de difusión de contaminantes atmosféricos.

Palabras clave: Emisiones; Fuentes fijas; Calidad del aire; Software.

Abstract

Objective: To develop software that calculates the flow, speed, mixing-layer height, atmospheric stability and pollutant emission rate.

Materials and methods: The design phase was performed by Rational Rose tool, starting with software engineering, showing the use case diagrams and then the design of the database. After, the stage of the implementing of the database was carried out, with the ACCESS manager and user interface with the programming tool Delphi 6. Later the flow calculation procedures, speed, mixing layer height, atmospheric stability and pollutant emissions are shown. To apply the software technology were used the data from fixed sources from the cities of Pinar del Rio and Santa Lucia, and the surface meteorological data were obtained from the provincial meteorological center of Pinar del Rio.

Results: Software that presents different windows with specific functions was obtained. The form Pollutant sources, shows a sample of the registered sources of the cities of Pinar del Rio and Santa Lucia, this form generates reports in which are included the flow calculations, speed, height of the mixed layer, atmospheric stability and pollutant emissions. The Data Source window, allowing the recording of technology data of stationary sources. Other software windows perform auxiliary functions to assist the correct operation of it.

Conclusions: The software is a step forward in air quality studies in Cuba, it allows the inventory of emission of pollutants from stationary sources, implementing the current air quality models DISPER, ISCST3, AERMOD and CALPUFF and the diffusion studies of air pollutants.

¹ Departamento de Física, Universidad de Pinar del Río «Hermanos Saíz Montes de Oca», Pinar del Río, Cuba. e-mail: dagoberto@vrect.upr.edu.cu liuben.echevarria@lp.ensa.avianet.cu

² Centro de Contaminación y Química Atmosférica, Instituto de Meteorología de Cuba, Ciudad Habana, Cuba. e-mail: osvaldo.cuesta@insmet.cu

³ Centro Meteorológico Provincial, Pinar del Río, Cuba. e-mail: almara@pri.insmet.cu

Fecha de recibido: Mayo 10, 2011

Fecha de aprobación: Junio 12, 2011

Keywords: Emissions; Stationary sources; Air quality; Software.

Introducción

La modelación de la dispersión de contaminantes atmosféricos se aplica para conocer cómo varía en el tiempo y el espacio la concentración de una sustancia contaminante, a objeto de predecir y analizar la calidad del aire, y constituir una herramienta muy útil en el ámbito de la toma de decisiones políticas y de planificación (Turtós *et al.*, 2007). Es de gran aplicación en la gestión ambiental, utilizándose en el desarrollo de programas, proyectos y normas de emisión o calidad del aire (Bustos, 2004).

Los modelos de calidad del aire no son más que ecuaciones desarrolladas con herramientas computacionales, que presentan diferentes grados de complejidad y alcance (Alessandrini *et al.*, 2010), siendo categorizados de forma diferente por distintos autores como los modelos gaussianos, los modelos urbanos y regionales (Geary *et al.*, 1988, Bennett, 2002, Tilmes *et al.*, 2002) y por último modelos globales.

La norma cubana que trata el tema de la modelación de la calidad del aire, no ha cambiado en los últimos 25 años. El modelo que acoge esta norma, está limitado a regiones llanas o ligeramente onduladas, no tiene en cuenta algunos parámetros típicos de la altura de la capa de mezcla atmosférica, utiliza una constante de estratificación térmica que no refleja totalmente el comportamiento de la estabilidad atmosférica y no muestra los últimos avances de la ciencia de la modelación de la dispersión de contaminantes atmosféricos (Turtós *et al.*, 2003). Es necesario aplicar modelos de última generación como el DISPER, ISCST3, AERMOD (Cimorelli *et al.*, 2005) y el CALPUFF (Macintosh *et al.*, 2010), para obtener valores más representativos.

Para ello es imprescindible asimilar, adaptar y

automatizar procedimientos para calcular parámetros y variables que necesitan estos modelos para su correcto funcionamiento (Rodríguez *et al.*, 2012b), los cuales no existen en las fuentes fijas de emisión de contaminantes atmosféricos y en las estaciones meteorológicas, por no disponer del instrumental necesario para realizar las mediciones correspondientes. Estos parámetros son: flujo máximo del gas emitido, velocidad de salida de los gases por la chimenea y tasa de emisión de contaminantes; y las variables meteorológicas son: altura de la capa de mezcla atmosférica y estabilidad atmosférica (Rodríguez, 2007), siendo éste el punto de partida para la realización del presente trabajo, la creación de un software que tenga incorporado estos procedimientos de cálculos, para así poder aplicar los actuales modelos de calidad del aire.

Materiales y métodos

Los materiales y métodos empleados en el trabajo están divididos en tres etapas fundamentales:

1. Etapa de diseño e implementación del software.
2. Etapa de los procedimientos de cálculos empleados para obtener los parámetros de las fuentes fijas de emisión de contaminantes atmosféricos.
3. Por último la etapa donde se muestran los métodos empleados para obtener el comportamiento de las variables meteorológicas secundarias: estabilidad atmosférica y altura de la capa de mezcla atmosférica.

Primera etapa: Diseño de la Interfaz de Usuario

El diseño de la Interfaz de Usuario debe estar en correspondencia con los requerimientos funcionales a satisfacer por el sistema y son:

R1: Autenticación del usuario.

- R2: Gestionar registro de cuentas de usuarios y permisos sobre las tablas de la base de datos.
- R3: Cambiar contraseña de conexión.
- R4: Gestionar inventarios de fuentes contaminantes.
- R5: Obtener reportes de datos tecnológicos y meteorológicos para un día.
- R6: Obtener reportes de datos tecnológicos y meteorológicos para un mes.
- R7: Gestionar sección meteorológica.
- R8: Gestionar datos auxiliares.

Para el desarrollo del software se utilizó el <<Rational Rose>> que es una herramienta de Ingeniería de Software Asistido por Computadora de modelación visual (CASE siglas en inglés), que soporta de forma completa todas las especificaciones del Lenguaje Unificado de Modelado (UML siglas en inglés), utilizándose específicamente vistas lógicas para representar las funcionalidades a realizar por el sistema y los usuarios interesados en ellas empleándose los conceptos de:

- Actores: elementos que interactúan con la aplicación, ya sea un humano, un software o hardware.
- Casos de usos: agrupación de fragmentos de funcionalidad que el sistema ofrece para aportar un resultado de valor para los actores.
- Diagrama de Caso de Uso: modela la funcionalidad del sistema agrupándola en descripciones de acciones ejecutadas por un sistema para obtener un resultado, representándose la relación entre los casos de uso y los actores relacionados con estos.

Los Casos de Uso del sistema propuesto han sido agrupados en paquetes de Casos de Uso siguiendo el criterio de funcionalidad con el objetivo de lograr una mejor comprensión del modelo y modularización de las funcionalidades que brinda el sistema (Figura 1).

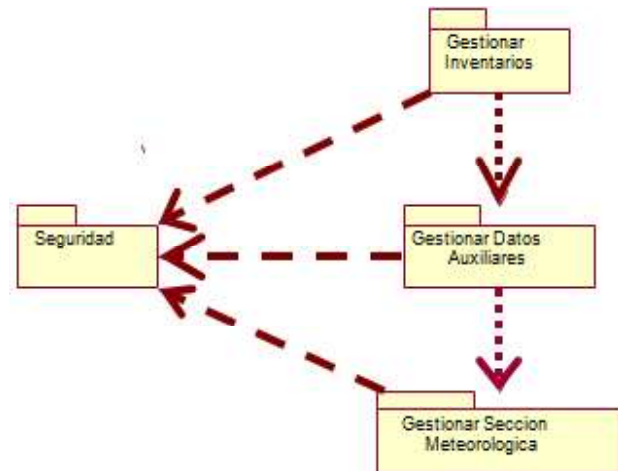


Figura 1. Diagrama de paquetes de Casos de Uso.

Fuente: Rodríguez, 2007

Se han definido cuatro paquetes: Seguridad, Gestionar Datos Auxiliares, Gestionar Inventarios y Gestionar Sección Meteorológica. A continuación se mostraran los diagramas de cada caso de uso.

El paquete seguridad contiene los casos de uso: Autenticación, Gestionar Usuarios, Eliminar Usuario, Adicionar Usuario y Cambiar Contraseña. Autenticación puede ser inicializado por cualquier usuario, en cambio, Gestionar Usuarios solo lo inicia el Administrador, el Especialista además de autenticarse puede Cambiar su contraseña (Figura 2).

El paquete Gestionar Inventarios contiene los casos de uso: Gestionar Fuentes, Listar Fuentes, Adicionar Fuentes, Eliminar Fuentes, Obtener Reportes, Reporte para un mes, Reporte para un día, Obtener Datos Meteorológicos y Realizar Cálculos. El caso de uso gestionar Fuentes puede ser iniciado por el Administrador o el Especialista, ellos además pueden inicializar el caso de uso Listar Fuentes, en cambio el Consultante solo puede iniciar este último (Figura 3).

El paquete Gestionar Datos Auxiliares agrupa los casos de uso siguientes: Gestionar Procesos,

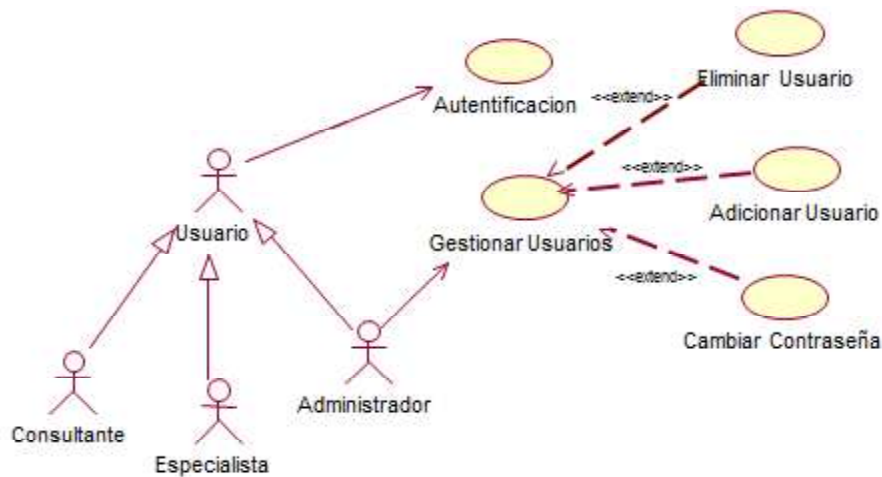


Figura 2. Diagrama de casos de uso del paquete Seguridad.

Fuente: Rodríguez, 2007

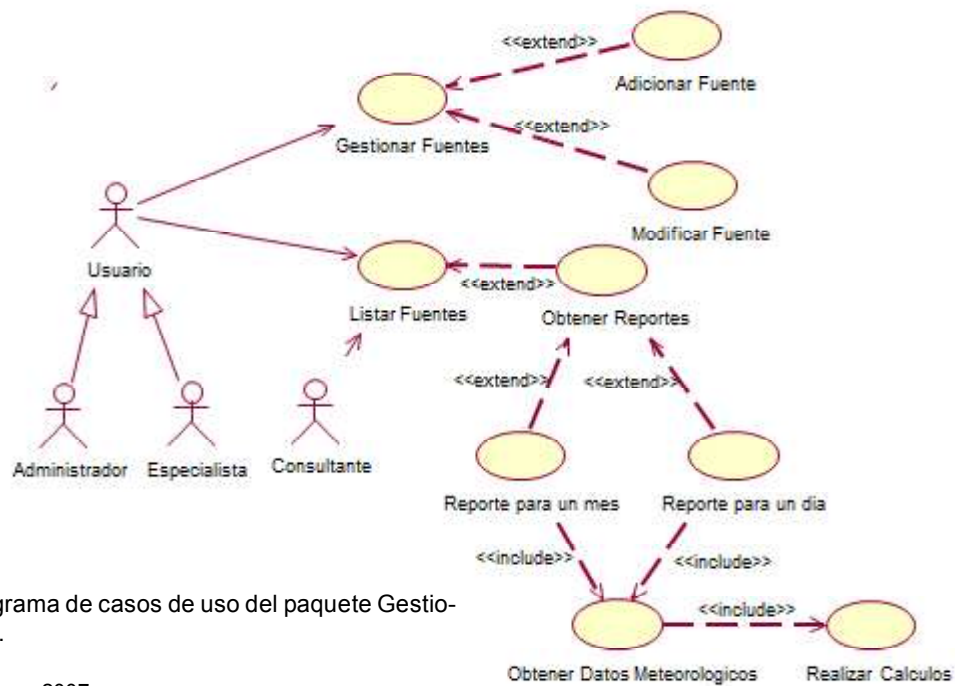


Figura 3. Diagrama de casos de uso del paquete Gestionar Inventario.

Fuente: Rodríguez, 2007

Gestionar Establecimientos, Gestionar Solventes, Gestionar Empresas, Gestionar Combustibles, Gestionar Organismos y Asignar Solventes, además de los casos de uso que permiten adicionar y modificar cada una de las entidades que se incluyen. Estos solo pueden ser inicializados por el Administrador o el Especialista (Figura 4).

El paquete Gestionar Información Meteorológica agrupa: Gestionar Estaciones, Adicionar Estaciones y Modificar Estaciones. Estos solo pueden ser inicializados por el Administrador o el Especialista (Figura 5).

Diseño de la Base de Datos. Para la obtención del mismo se utilizó conceptos de bases de da-

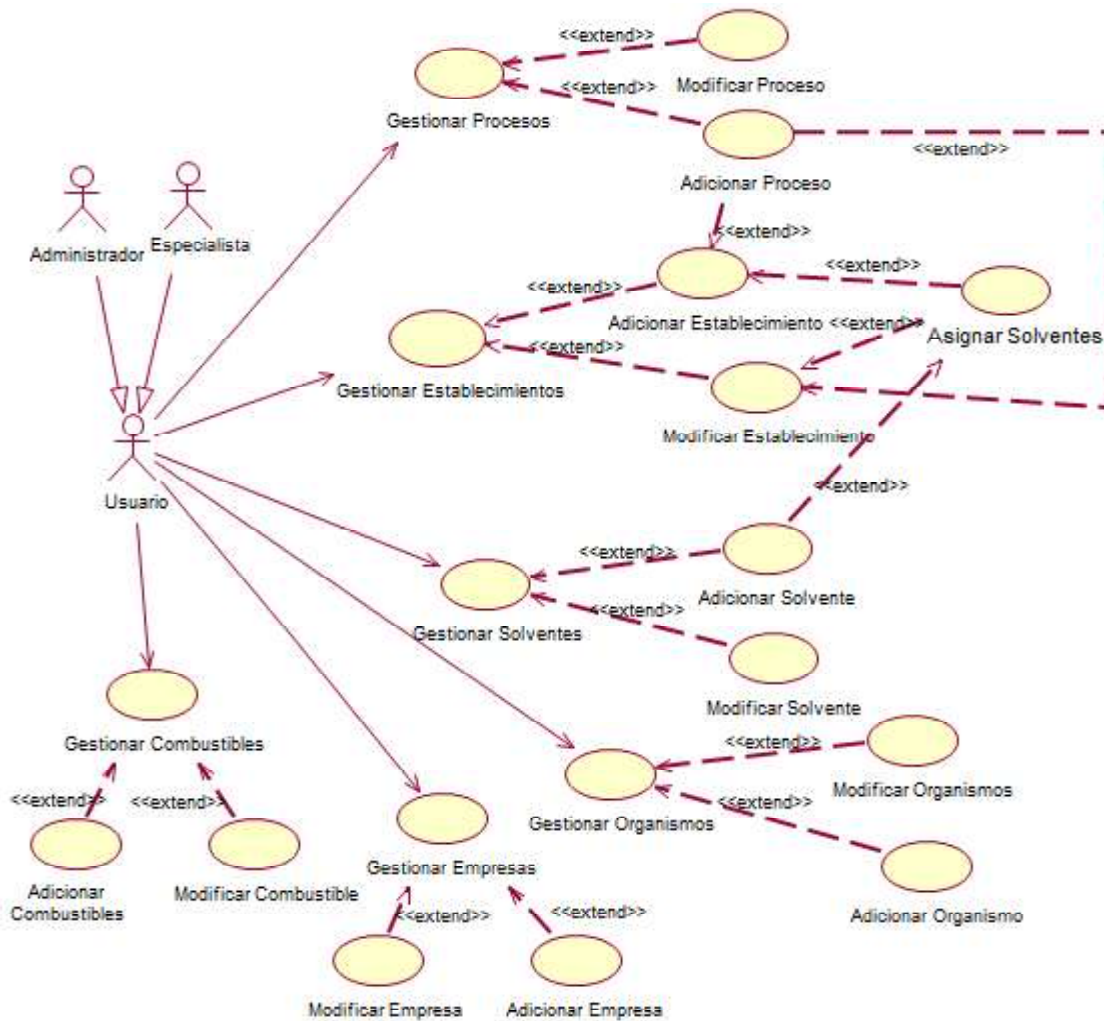


Figura 4. Diagrama de casos de uso del paquete Gestionar Datos Auxiliares.

Fuente: Rodríguez, 2007

tos como entidad, entidad débil, atributo, relación, llave primaria, llave extranjera, atributo mandatario, dominio, etc. En la Figura 6 se ponen de manifiesto estos conceptos, mediante la representación del Modelo Lógico Global obtenido a través del <<CASE Rational Rose>>.

Implementación de la Base de Datos. El gestor de base de datos utilizados para desarrollar el software fue ACCESS, que permite el acceso a la información contenida en ella de forma eficiente y segura, cumpliendo así con los requerimientos necesarios para el desempeño de la apli-

cación. En la Figura 7 se muestra el Modelo Lógico de Datos Extendido.

Implementación de la Interfaz de Usuario. La implementación de la interfaz de usuario fue desarrollada a través de la herramienta de programación Delphi 6, porque permite de manera rápida y productiva la conexión con la Base de Datos mediante la utilización de componentes como el <<AdoConnection>> y el <<Dataset>> para la conexión con cada uno de los objetos existentes en la Base de Datos. Los <<AdoQuery>> para la ejecución de consultas

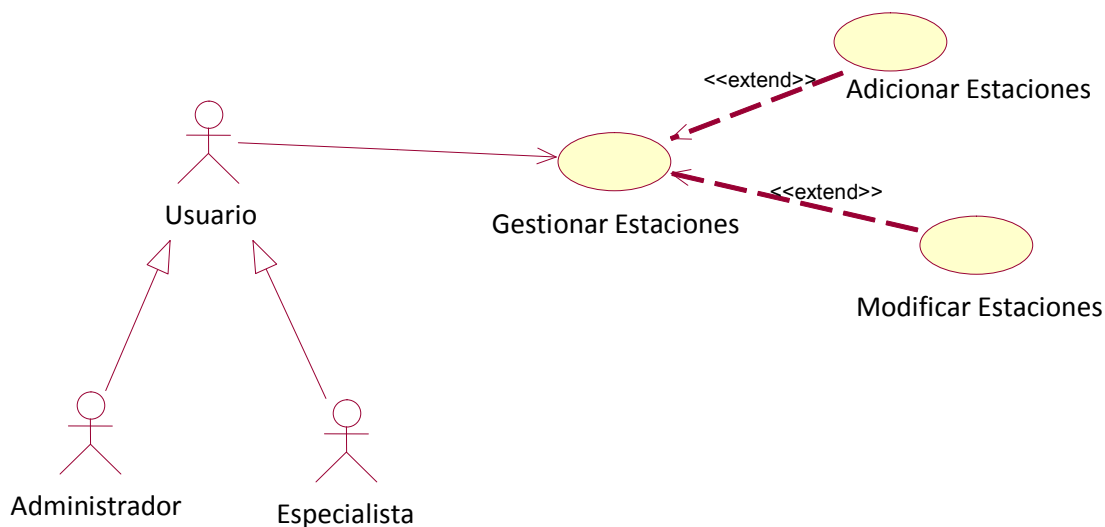


Figura 5. Diagrama de casos de uso del paquete Información Meteorológica.

Fuente: Rodríguez, 2007

de selección posibilita además la interacción con diferentes tipos de bases de datos. En la Figura 8 se muestra la utilización del componente <<Adoconnection>> para la conexión de la aplicación con la Base de Datos.

Segunda etapa: Obtención de parámetros tecnológicos en las fuentes fijas de contaminación atmosférica

Para la captación de los datos tecnológicos de las fuentes fijas de emisión de contaminantes atmosféricos en Cuba se utiliza la Norma Cubana (NC) 242 (2005), existiendo la dificultad de que todos los datos no aparecen de forma rutinaria en estas fuentes, ni existen instrumentos para medir los mismos, surgiendo la necesidad de obtener estos datos mediante otras vías, mostrándose así el procedimiento empleado en el trabajo.

Flujo máximo del gas emitido. El volumen de gases húmedos se obtiene de la Ec. (1) (Rodríguez *et al.*, 2012a).

Donde:

V_{TH} : Volumen de gases húmedos en condiciones normales (0° C y 760 mm de Hg) en Nm³/kg de combustible.

n: Coeficiente de exceso de aire = 1.2 en ausencia de mediciones.

PC, PH₂, PS y PO₂ son una estandarización a 1 de la composición elemental de la materia prima como se muestra en la Tabla 1, suministrada por EECH-Laboratorio de Inel.

A partir de la Ec. (1) se obtiene la Ec. (2):

$$V_2 = \frac{V_1}{T_1} * T_2 \quad (2)$$

Donde:

V_2 : Flujo volumétrico corregido (m³/kg)

$V_1 = V_{TH}$ (Nm³/kg)

T_1 : Temperatura en condiciones normales (0° C o 273 K)

T_2 : Temperatura de salida de los gases de la chimenea (K)

$$V_{TH} = 22.4 * \left[\left(\frac{PC}{12} + \frac{PH_2}{4} + \frac{PS}{32} - \frac{PO_2}{32} \right) * \frac{n}{0.21} + \frac{PH_2}{4} + \frac{PO_2}{32} \right] \quad (1)$$

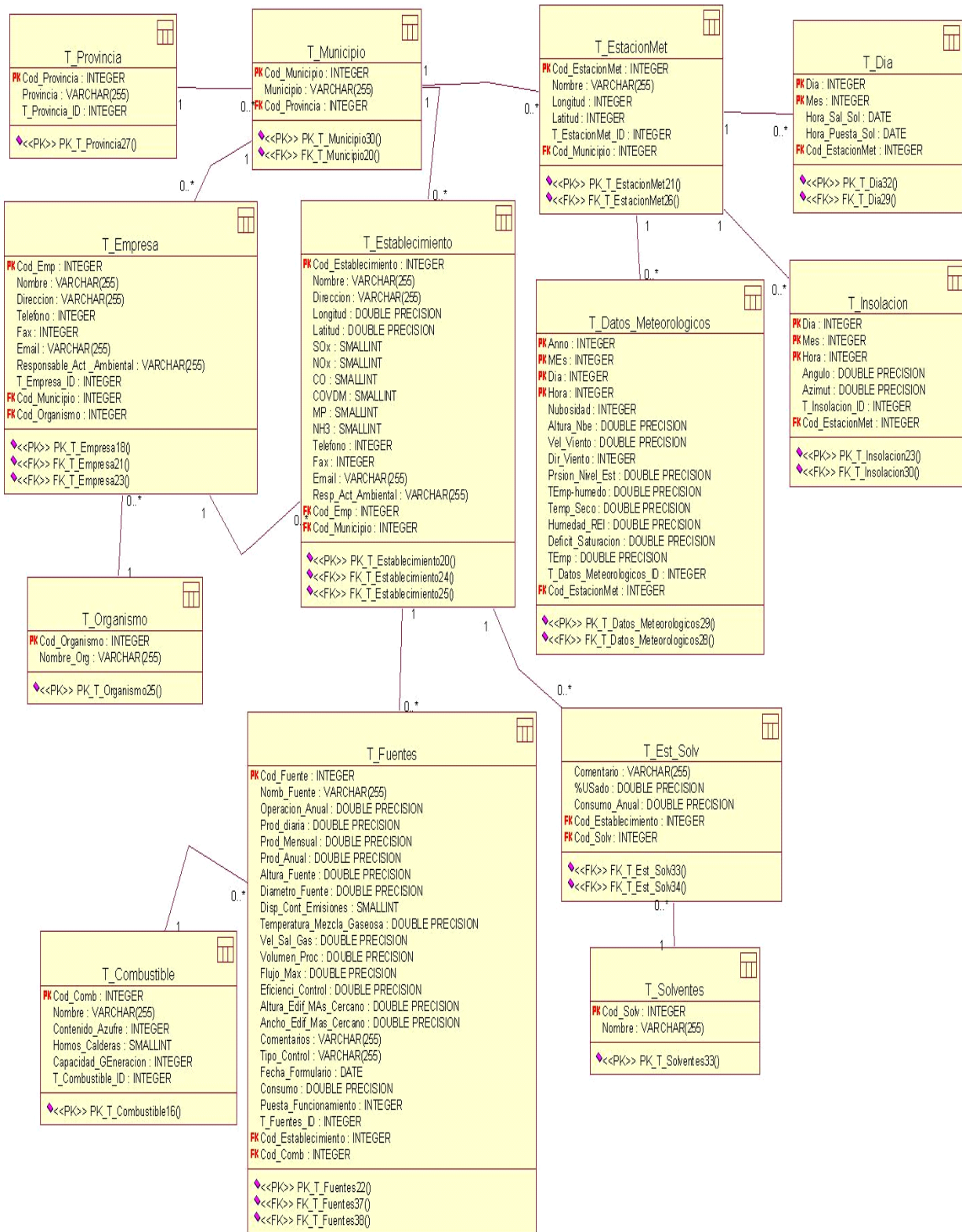


Figura 6. Modelo Lógico Global.

Fuente: Rodríguez, 2007

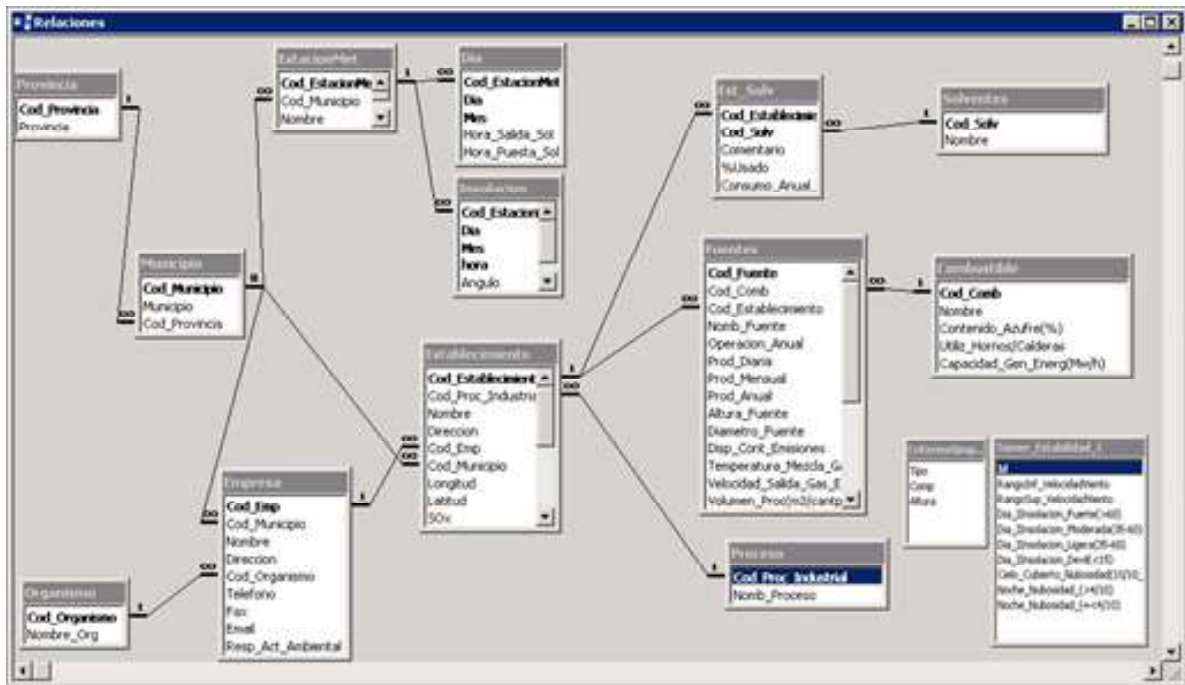


Figura 7. Modelo Lógico de Datos Extendido.

Fuente: Rodríguez, 2007

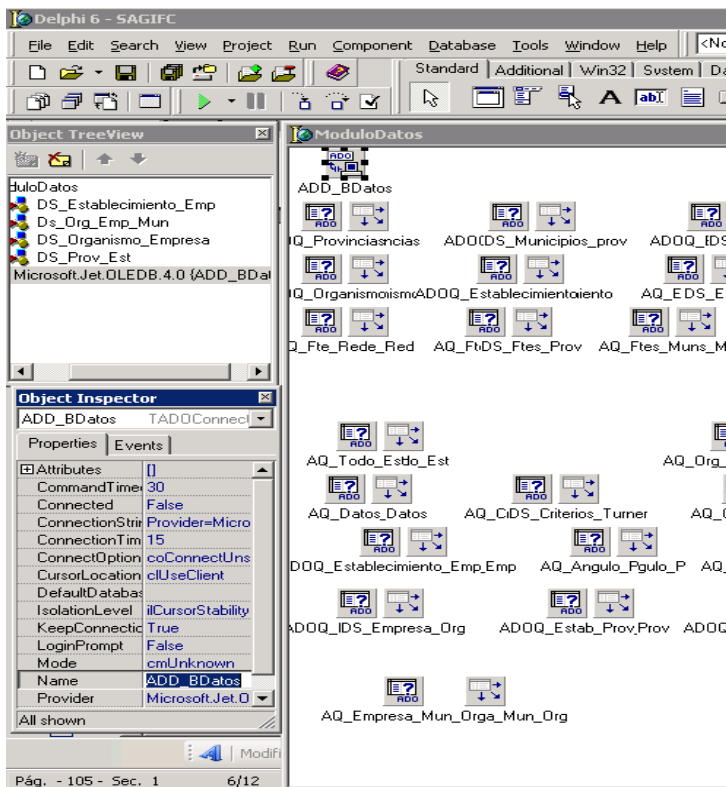


Figura 8. Utilización del componente ADOconnection para la conexión de la aplicación a la Base de Datos.

Fuente: Rodríguez, 2007

Con el resultado de la Ec. (2), sustituyéndola en la Ec. (3) se obtiene el flujo máximo del gas emitido (Q) en m³/seg.

$$Q = V_2 * CC \quad (3)$$

Datos:

CC: Consumo de combustible (kg/seg)

La velocidad de la mezcla gaseosa se obtuvo mediante la siguiente expresión:

Con el resultado de la Ec. (3) sustituyendo en la Ec. (4) se obtiene la velocidad de la mezcla gaseosa emitida.

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * d^2} \quad (4)$$

Donde:

V: Velocidad de salida en (m/s)

Q: Flujo máximo del gas emitido (m³/seg)

Tabla 1. Composición elemental de la materia prima (combustible)

Combustible	Composición química (%)		
	S	H	C
Diesel	0,70	13,91	84,39
Fuel-Oil ligero	2,23	11,09	85,53
Fuel-Oil mediano	3,38	11,06	84,26
Fuel-Oil pesado	3,61	11,72	83,47

d: Diámetro interior de la chimenea (m)

π : 3.14

Cálculo de emisiones de contaminantes atmosféricos utilizando factores de emisión:

Con la Ec. (5) se obtiene las emisiones de los contaminantes utilizando factores de emisión.

$$E = FE * A * (1-ER/100) \quad (5)$$

Donde:

E = Emisión en g/s

FE = Factor de emisión en g/kg

A = Nivel de intensidad de la actividad (consumo de combustibles, producción), en unidades de masa o volumen por tiempo

ER = Eficiencia global en la reducción de emisiones (%)

Los factores de emisión utilizados en el trabajo se obtuvieron a través de las fuentes siguientes: Compilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos <<Emission Factor and Inventory Group>> AP-42 US EPA (1998) y del software <<Industrial Pollution Control>> (IPC) Control de Contaminación Industrial, desarrollado por el Banco Mundial, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS).

Tercera etapa: Métodos para obtener las variables meteorológicas secundarias

El método más apropiado para obtener el comportamiento de la estabilidad atmosférica y la altura de la capa de mezcla atmosférica es la realización de mediciones a través del lanzamiento de globos sondas; para este trabajo no se dispuso de los mismos por lo que se utilizan otras vías como se muestra a continuación.

Categorías de estabilidad atmosférica. Las categorías de estabilidad atmosférica son empleadas en la modelación de la dispersión para facilitar la estimación de los parámetros de la dispersión lateral y vertical, usados en los modelos gaussianos. En la Tabla 2 se muestra el método de Turner (1964) utilizado para obtenerlas.

Los parámetros básicos necesarios para clasificar la estabilidad según este método son la velocidad del viento, medida a 10 m sobre el nivel del terreno. La estimación de la insolación diurna, con base en el ángulo de elevación solar, la nubosidad (por ciento de cielo cubierto de día y de noche) y la altura de la base de las nubes durante el día. De estas variables la única que no se registra en las estaciones meteorológicas de Cuba es la insolación. La misma se obtuvo a partir del software Sol (desarrollado en el Instituto de Meteorología de Cuba) y se incluyeron estos datos en la base de datos del software.

Altura de la capa de mezcla. Se emplea en los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos generados por fuentes fijas, para determinar hasta donde ascienden los gases contaminantes en la dirección vertical, la misma llega hasta el límite máximo de la capa inferior de la atmósfera. Esta altura es determinada en el trabajo mediante el método de Pasquill (1961), (Tabla 3), el mismo se combinó con el método de

Tabla 2. Método de Turner para estimar la estabilidad atmosférica

Velocidad del viento U (m/s)	Día: Insolación				Cielo cubierto Nubosidad 10/10	Altura <2133,6 m	Noche	
	Fuente	Moderada	Ligera	Débil			Nubosidad	
	$\alpha >60^\circ$	$\alpha 35 < 60^\circ$	$\alpha <35^\circ$	$\alpha <15^\circ$			>4/10	< 4/10
0-0.77	A	A	B	C		D	F	F
0.77-1.80	A	B	B	C		D	F	F
1.80-2.83	A	B	C	D		D	E	F
2.83-3.34	B	B	C	D		D	E	F
3.34-3.86	B	B	C	D		D	D	E
3.86-4.89	B	C	C	D		D	D	E
4.89-5.40	C	C	D	D		D	D	E
5.40-5.92	C	C	D	D		D	D	D
≥ 5.92	C	D	D	D		D	D	D

Fuente: Rodríguez, 2007

Tabla 3. Reglas para estimar las clases de estabilidad atmosférica y las alturas de la capa de mezcla a partir de la velocidad del viento y el grado de insolación

	Velocidad del viento	Clase de Pasquill	Altura de la mezcla (m)
Día Alta insolación*	0-2 m/s	A (muy inestable)	1600
	2-3 m/s	B (inestable)	1200
	3-5 m/s	C (ligeramente inestable)	800
	>5 m/s	D (neutra)	560
Día Baja insolación	0-2 m/s	B	1200
	2-3 m/s	C	800
	3-5 m/s	D	560
	>5 m/s	D	560
Noche	0-2 m/s	F (estable)	200
	2-3 m/s	F	200
	3-5 m/s	E (ligera estabilidad)	320
	>5 m/s	D (neutra)	560
	Nublado	D	560

Fuente: Rodríguez, 2007

Turner (Tabla 2), mediante el cual se obtuvo las categorías de estabilidad atmosférica.

Resultados

Como resultado se muestran las ventanas principales del software, las cuales representan la función que desempeñó cada una de ellas. Primero se muestra las ventanas que gestionan la infor-

mación de las fuentes de contaminación atmosférica.

Registro de parámetros tecnológicos en las fuentes fijas de contaminación atmosférica. La Figura 9 ilustra el formulario del software, encargado de registrar las fuentes contaminantes, donde se puede apreciar las fuentes de las ciudades de Pinar del Río y de Santa Lucía, de la pro-

Código	Nombre	Establecimiento	Combustible	Puesta en funcionamiento
2041	Horno	Planta Sulfometales	Fuel Oil	1961
7111	Caldera	CITRUS	Fuel Mediano	2000
10111	Caldera	Rafael María de Mendive	Diesel Regular	1981
901	Caldera	Rafael María de Mendive	Diesel Regular	1990
11112	Caldera	UEB Venegas	Fuel Mediano	1957
11111	Caldera	UEB Venegas	Fuel Mediano	1957
20111	Caldera	Fca Cerveza La Princesa	Fuel Mediano	1991
20213	Caldera	La Conchita	Fuel Mediano	1944
20212	Caldera	La Conchita	Fuel Mediano	1975
20214	Caldera	La Conchita	Fuel Mediano	1982
20215	Caldera	La Conchita	Fuel Mediano	2000
20211	Caldera	La Conchita	Fuel Mediano	1978
20311	Caldera	Fabrica Combinado Lacteo	Fuel Mediano	2005
20312	Caldera	Fabrica Combinado Lacteo	Fuel Mediano	1994
40111	Horno	UEB Ceramica Roja "Tejar Dolores"	Fuel Mediano	1950
40121	Horno	UEB Ceramica Roja "Tejar Lache"	Fuel Mediano	1936

Figura 9. Fuentes Contaminantes.

Fuente: Rodríguez, 2007

vincia de Pinar del Río de Cuba, registradas en él. En este formulario aparece información sobre código de las fuentes, nombres, establecimiento (lugar de ubicación de las fuentes), combustible utilizado en las fuentes fijas y la fecha de funcionamiento (año en que comenzó a trabajar la fuente). También se puede observar los botones Adicionar, Editar y Ver Reporte. El botón Adicionar permite incluir una nueva fuente con toda la información que se solicita en esa ventana, el botón Editar permite realizar modificaciones a cualquier fuente que este registrada en el software y el botón Ver Reporte, muestra la información tecnológica y meteorológica con los cálculos de flujo máximo del gas emitido, velocidad de salida de los gases por la chimenea, tasa de emisión de contaminantes, altura de la capa de mezcla y estabilidad atmosférica.

La Figura 10, muestra el formulario Datos de

Fuente, el cual se utilizó para registrar los datos tecnológicos de las fuentes fijas. Como se puede ver la ventana tiene todos los campos con datos, mostrando así el funcionamiento de la misma.

Registro de datos meteorológicos. La Figura 11 muestra el Formulario Estaciones Meteorológicas. Como se puede observar aparece registrada la estación meteorológica de la ciudad de Pinar del Río, apreciándose así la funcionalidad del Software.

Registro de datos auxiliares. Los datos auxiliares permitieron una mejor organización de la información de la Base de Datos, son entidades imprescindibles para cumplir con los parámetros que exige la NC 242 (2005) sobre los datos tecnológicos necesarios para realizar los inventarios de emisiones de fuentes fijas. Pertenecen a esta etapa las empresas, establecimientos, organismos, solventes, combustibles y procesos. Segui-

Datos de Fuente

Selección de Establecimiento

Fecha de la captación: 03/09/2007

Provincia: Pinar del Río

Municipio: Pinar del Río

Organismo: MINAGRI

Empresa: CITRUS ICET Corporación S.A

Establecimiento: CITRUS

Datos Generales:

Código: 7111

Nombre de Fuente: Caldera

Tipo de combustible: Fuel Mediano

Consumo Anual (Tn): 340

Contaminantes:

CO	0	NO2	0	MP	0
SO2	0	SO3	0	COVDM	0
NO	0	SOx	0	NH3	0
NOx	0				

Información Estática:

Año de Puesta en Marcha: 2000

Operación Anual (Hrs/Año): 3060

Producción Diaria: 0

Producción Mensual: 0

Producción Anual: 60000

Altura de la fuente (m): 15

Diámetro Interior (m): 0.75

Disponibilidad del control de emisiones

Tipo de control:

Eficiencia del control (%): 70

Flujo Máximo del Gas Emitido: 12.63

Temperatura de la Mezcla Gaseosa (°C): 280

Velocidad de Salida del Gas Emitido (m/s): 28.6

Información de Edificaciones:

Altura del edificio más cercano (m): 0

Ancho del edificio más cercano (m): 0

Coefficiente de Exeso de Aire:

Modificar Cancelar

Figura 10. Formulario Datos de Fuente.

Fuente: Rodríguez, 2007

Datos Auxiliares: Estaciones meteorológicas

Provincia: Pinar del Río

Municipio: Pinar del Río

Código	Nombre	Longitud	Latitud
78383	Pinar del Río	-83.39	22.24

Acciones: Adicionar Editar Cerrar

Figura 11. Estaciones Meteorológicas.

Fuente: Rodríguez, 2007

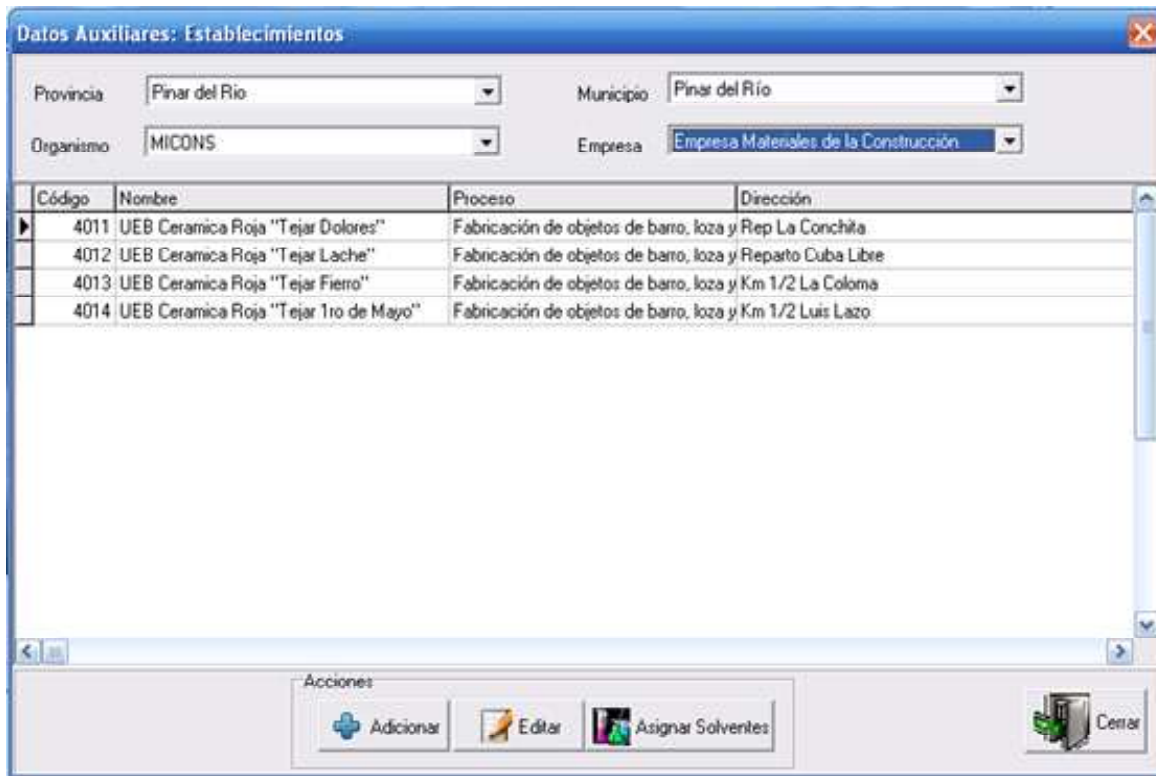


Figura 12. Establecimientos.

Fuente: Rodríguez, 2007

damente se mostrarán algunas de estas ventanas pertenecientes a esta parte de la aplicación.

Establecimientos. El Establecimiento (Figura 12) es la entidad donde están ubicadas las fuentes, se accede a su interfaz mediante la opción Establecimientos del Menú Datos Auxiliares o mediante el botón correspondiente en la Barra de Herramientas. Como se puede apreciar, en ella aparecen los siguientes cuadros combinados: Provincia, Municipio, Organismo y Empresa. La selección de estas opciones muestra los campos: Código, Nombre, Proceso y Dirección con su información correspondiente. En este caso se observa la información de los tejares que tiene como empresa «Materiales de la Construcción», perteneciente a la ciudad de Pinar del Río. Esta información es imprescindible para conocer la ubicación exacta de la fuente contaminante.

Organismos. Es la entidad a la que se subordina la Empresa, se accede a su interfaz mediante la opción Organismos del Menú Datos Auxiliares o mediante el botón correspondiente en la Barra de Herramientas. Al utilizar alguna de estas variantes, se muestra la ventana de la Figura 13; como se puede observar en este formulario solo aparecen los campos: Código y Nombre, y su función es registrar los organismos objeto de estudio.

Procesos. Es el Proceso Industrial que realiza el Establecimiento, se identifica por un id según la NC 242 (2005). Se accede a su interfaz mediante la opción Procesos del Menú Datos Auxiliares o mediante el botón correspondiente en la Barra de Herramientas. Al utilizar alguna de estas variantes, se muestra la ventana de la Figura 14, en ella se puede observar algunos procesos los cuales están implementados en el software.

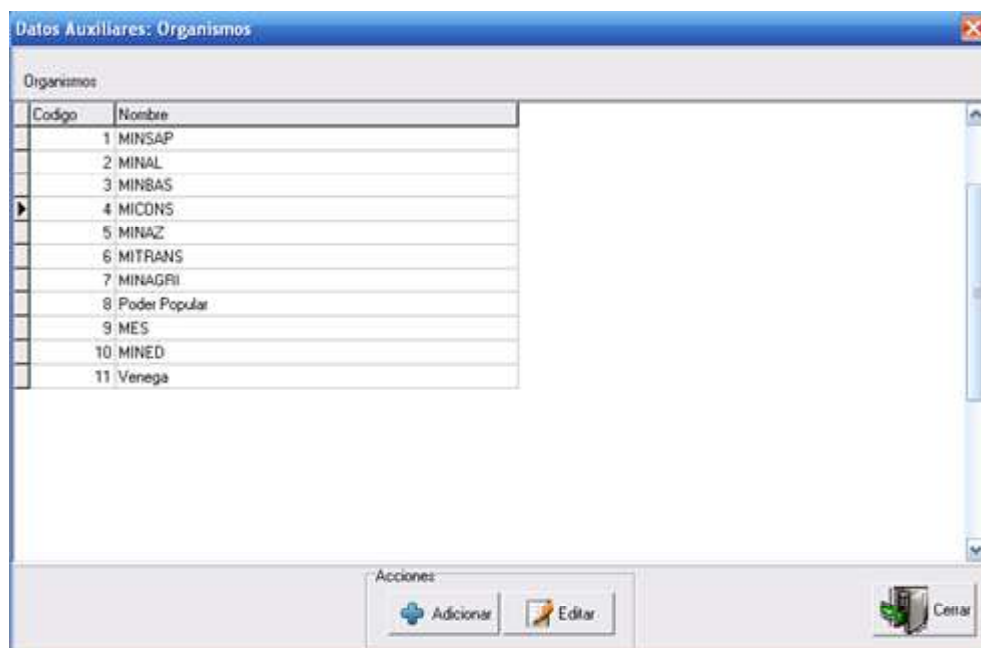


Figura 13. Organismos.

Fuente: Rodríguez, 2007

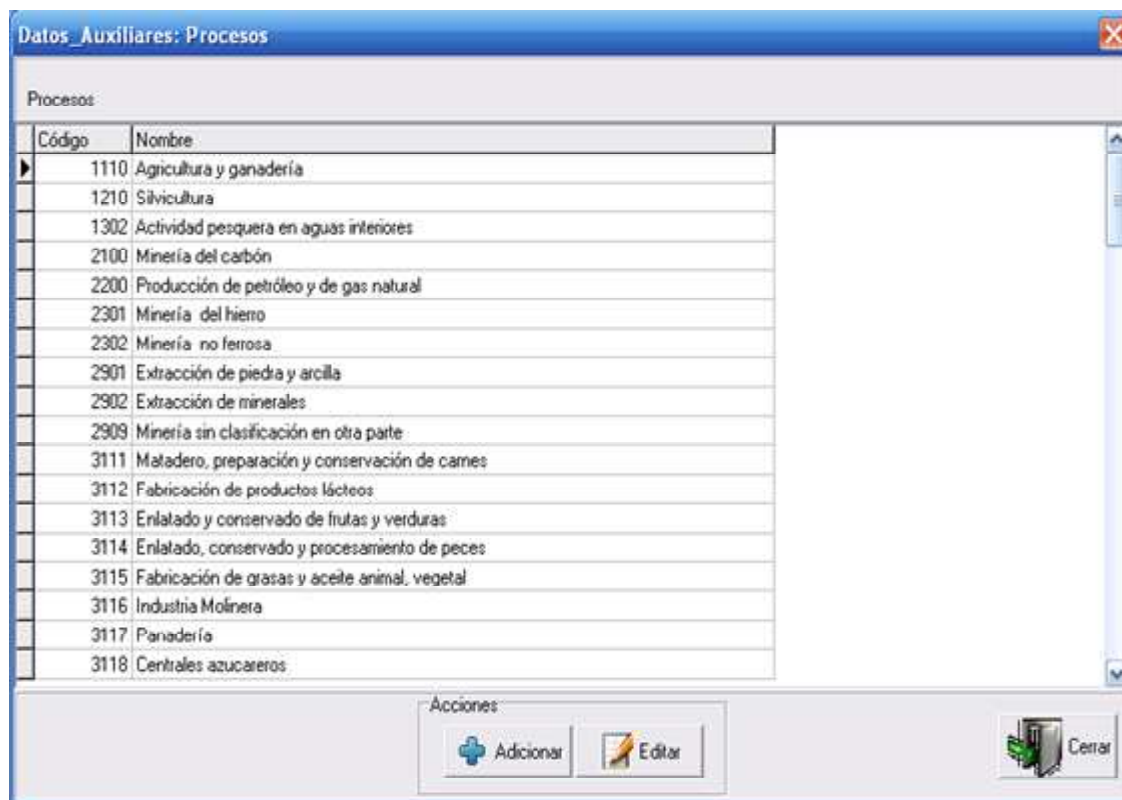


Figura 14. Procesos.

Fuente: Rodríguez, 2007

Discusión

La Figura 9 permite dar tratamiento a la información de acuerdo con los estándares de la informática actual, amigabilidad y rapidez para el usuario, lo que garantizó un uso adecuado del software. El registro de los datos de las fuentes fijas de las ciudades de Pinar del Río y Santa Lucía, comprobó el correcto funcionamiento del software en la gestión organizada y eficiente de la información contenida en la base de datos, que hasta la fecha de realización del software, constituía un problema, porque la información se encontraba en archivos registrados de forma manual, lo que limitaba la realización de los estudios de modelación de la calidad del aire, debido a fragmentación de la misma, resultando así, inoperante para este fin.

Como ventaja principal del formulario de la Figura 9 se tiene la obtención de los reportes que el software genera, y en él aparecen los datos tecnológicos de flujo máximo del gas emitido, velocidad de salida de los gases por la chimenea, tasa de emisión de contaminantes y datos meteorológicos como altura de la capa de mezcla y estabilidad atmosférica, calculados por el software, constituyendo así un paso muy favorable en la implementación y aplicación de los actuales modelos de calidad del aire en Cuba, porque se dispone de esta forma, del conjunto de información que solicitan estos modelos para su correcto funcionamiento.

La Figura 10 del software, Datos de Fuente, muestra el registro de un gran número de datos mediante un solo formulario, ello fue posible debido a las bondades que presenta la herramienta de programación Delphi 6, con el trabajo con base de datos. El conjunto de parámetros que se solicita en la Figura 10 del software, es el establecido en el formulario número dos de la Norma Cubana (NC) 242 (2005) para realizar la captación de los datos tecnológicos de las fuentes fi-

jas. Esta información se registra y se archiva en las fuentes fijas de forma manual y la realización del software permitió darle un uso más eficiente y operante acorde con los adelantos tecnológicos actuales.

El Formulario Estaciones Meteorológicas (Figura 11), permitió registrar las estaciones meteorológicas de las ciudades de Pinar del Río y Santa Lucía, y permitió poder registrar en la base de datos del software, los datos meteorológicos de superficie medidos en las estaciones meteorológicas, necesarios para realizar los cálculos de las variables meteorológicas secundarias, estabilidad atmosférica y altura de la capa de mezcla atmosférica. Esto constituye un paso de avance significativo ya que la obtención de la estabilidad atmosférica y altura de la capa de mezcla atmosférica, constituía una limitante para poder aplicar los actuales modelos de calidad del aire en Cuba.

El formulario de la Figura 12, es el encargado de registrar la información de los establecimientos, siendo la misma muy importante, porque da la ubicación de las fuentes fijas de contaminación, presentándose como ventaja la automatización de la información en la base de datos del software, eliminándose así la redundancia de datos existente en los archivos manuales, aumentando la consistencia de los datos, obteniéndose más información sobre la misma cantidad de datos mediante su relación con las demás tablas del software. Todo esto favoreció el correcto funcionamiento del software en la generación de los reportes con la información necesaria para poder trabajar con los actuales modelos de calidad del aire.

El Organismo es la entidad a la que se subordina la Empresa, el formulario de la Figura 13 es el encargado de registrar todos los organismos a los cuales pertenecen las fuentes fijas de contaminación atmosférica. La automatización de esta información fue necesaria para poder tener un

correcto trabajo de gestión de la información por parte del software, ya que los organismos forman parte de la información que solicita el formulario número uno de la NC 242 (2005), la cual se utilizó como base para realizar el software.

La NC 242 (2005), tiene establecido los tipos de procesos industriales, según la clasificación internacional estándar para las fuentes industriales. Esta información de los procesos se utilizó como base para realizar el formulario de la Figura 14 del software donde aparece automatizados todos los procesos. Se presenta como ventaja la compartición de estos datos, asignándose a cada fuente el proceso que le corresponde, sin que exista redundancia de datos.

Conclusiones

La utilización de la herramienta de programación Delphi 6, utilizando ACCESS como gestor de base de datos, permitió la obtención del software con el objetivo planteado, calcular: flujo máximo del gas emitido, velocidad de salida de los gases por la chimenea, tasa de emisión de contaminantes, altura de la capa de mezcla atmosférica y estabilidad atmosférica.

La realización de este software permitió realizar estudios posteriores de inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos generados por fuentes fijas, mediante su aplicación en las ciudades de Pinar del Río y de Santa Lucía, pertenecientes a la provincia de Pinar del Río de Cuba. El impacto fue positivo, pues hasta la fecha no se había realizado estudios de este tipo en esta provincia, dándose a conocer las emisiones de todas las fuentes fijas de estas localidades. El mismo sirve como base para generalizarlo en toda la provincia y en el país.

La aplicación del software también permitió realizar estudios de difusión de contaminantes atmosféricos en las ciudades de Pinar del Río y de

Santa Lucía, lo que posibilitó conocer el comportamiento de la estabilidad atmosférica y de la altura de la capa de mezcla atmosférica, constituyendo un resultado muy importante en estudios de modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos en Cuba.

La información exportada del software ha permitido aplicar los actuales modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos DISPER, ISCST3, AERMOD y CALPUFF, los cuales necesitan para su ejecución de un mayor número de datos que el actual modelo acogido por la norma cubana de calidad del aire, permitiendo realizar comparación entre estos modelos y poder escoger el que represente con mayor certidumbre el proceso real, constituyendo un paso de avance en la ciencia de la modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos y en la realización de estudios de impactos ambientales en Cuba.

Sustituye las mediciones para determinar los parámetros tecnológicos de las fuentes fijas de emisión de contaminantes atmosféricos y en la obtención de la estabilidad atmosférica y altura de la capa de mezcla atmosférica, a partir de los procedimientos descrito en los materiales y métodos del trabajo. Es de gran importancia y aplicación, atendiendo a la reducción del costo del trabajo a realizar, debido a los altos precios de estos instrumentos en el mercado internacional.

Literatura citada

- Alessandrini S, Ferrero E, Pertot C, Castelli ST, Orlandi E. 2010. Turbulence closure in atmospheric circulation model and its influence on the dispersion. *Int J Environ Poll.* 40: 36-48.
- Bennett A. 2002. *Inverse modeling of the ocean and atmosphere.* Cambridge: Cambridge University Press 234 pp.
- Bustos C. 2004. *Aplicación de modelos de dispersión atmosférica en la evaluación de impacto ambiental: análisis del proceso.* (MSc tesis). Santiago: Universidad de Santiago de Chile.

- Cimorelli A. 2005. AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications. Part I: General model formulation and boundary layer characterization. *J Applied Meteorol.* 44 (5): 682-93.
- EPA. 1998. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42. 5th Ed. Volume I: Stationary point and area sources. Acceso 22 de noviembre de 2007. Disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01>
- Geary M, Whitten J, Killus L, Ruscic B, Lalas D. 1988. A photochemical kinetics mechanism for urban and regional scale computer modeling. *J Geophys.* 94: 12925-6.
- MacIntosh DL, Stewart JH, Myatt TA, Sabato JE, Flowers GC, Brown KW, *et al.* 2010. Use of CALPUFF for exposure assessment in a near-field, complex terrain setting. *Atmospher Environ.* 44 (9): 262-70.
- NC 242/2005. *Guía de datos tecnológicos para el inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos desde fuentes industriales fijas.* La Habana: CITMA-INN-MEP.
- Pasquill F. 1961. The estimation of the dispersion of windborne material. *Meteorology.* 90: 33-49.
- Rodríguez D, Echevarría L, Cuesta O, Collazo A, Sánchez A, Gato A. 2012a. Métodos teóricos para calcular parámetros tecnológicos de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por fuentes fijas. Caso de estudio ciudad de Pinar del Río. *Rev NEREIS.* 4: 19-30.
- Rodríguez D, Echevarría L, Sánchez A, Cuesta O. 2012b. Estudio de variables meteorológicas secundarias que intervienen en la difusión de contaminantes atmosféricos. Caso de estudio ciudad de Pinar del Río. *Rev Cubana Meteorol.* 18: 35-50.
- Rodríguez D. 2007. *Sistema Automatizado de Gestión de Información de Fuentes Contaminantes (SAGIFC).* (MSc tesis). Pinar del Río: Universidad de Pinar del Río. 166 pp.
- Tilmes S, Brandt J, Flatoy F, Bergström R, Flemming J, Langner J, *et al.* 2002. Comparison of five eulerian air pollution forecasting systems for the summer of 1999 using the german ozone monitoring data. *J Atmos Chem.* 42: 91-121.
- Turner DB. 1964. A difusión model for an urbana area. *J Appl Meteorol.* 3: 83-91.
- Turtós L, Meneses E, Sánchez M, Rivero J, Rivero N. 2007. Assessment of the impacts on health due to the emissions of Cuban power plants that use fossil fuel oils with high content of sulfur. Estimation of external costs. *Atmosph Environ.* 41: 2202-13.
- Turtós L, Roque A, Soltura R, Sánchez M. 2003. Metodología de estimación de variables meteorológicas secundarias para modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental.* 4: 266-77.