



MAEP

Manual de usuario v.0

Universidad de los Andes

**Modelo de análisis eléctrico y
planamiento**

Mayo 2018

Modelo de análisis eléctrico y planeamiento - MAEP

Este software es una aplicación de código abierto y libre acceso a través de plataforma web, para ofrecerle al usuario una herramienta para el planeamiento de la operación de sistemas hidrotérmicos y con integración de fuentes renovables.

MAEP emplea PYTHON como lenguaje de programación principal, y le da al usuario la posibilidad de interactuar con el código fuente y acceder a bibliotecas de código abierto para el desarrollo de futuras funcionalidades.

Este software fue desarrollado por la Universidad de los Andes y ha sido soportado y financiado en parte por las instituciones mencionadas a continuación.

1. Universidad de los Andes

- PhD Ángela Cadena.
Profesora asociada en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Directora del grupo de investigación EAE.
- PhD Nicanor Quijano.
Profesor titular en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Director del grupo de investigación GIAP.
- Grupo de trabajo:
 - PhD Candidato, José Morillo.
 - MSc. Angélica Pedraza.
 - Ing. David Piñeros.
 - Ing. Santiago Blanco.

2. Universidad del Rosario: En colaboración con el Departamento de Matemáticas Aplicadas y Ciencias de la Computación.

- PhD. Juan Fernando Pérez.
Profesor principal de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas.

3. Cornell University: En colaboración con el laboratorio de investigación AndersonLab, para la integración y uso de tecnologías de fuentes renovables.

- PhD. C. Lindsay Anderson.
Associated professor, Department of Biological and Environmental Engineering. Directora del grupo de investigación AndersonLab.
- PhD. Luckny Zéphyr.
Former postdoc. Actualmente: Assistant Professor, Laurentian University, Canada.

4. ISAGEN: Acuerdo específico No. 2. Acuerdo interinstitucional ISAGEN-UNIANDES No. 47 353.

5. CEIBA: CENTRO DE ESTUDIOS INTERDISCIPLINARIOS BÁSICOS Y APLICADOS, cuyo objeto principal es la canalización de recursos públicos y privados hacia el desarrollo de actividades científicas y tecnológicas.

La universidad de los Andes agradece el esfuerzo decidido de todos los involucrados.

Acerca de MAEP

Descripción: **Ángela**

Tabla de contenido

1. Primeros pasos	5
1.1. Ejecución en línea	5
1.1.1. Plataforma	5
1.1.2. Tipos de usuario	5
1.1.3. Formularios	5
1.2. Ejecución local	5
1.2.1. Código fuente	6
1.2.2. Entorno de desarrollo	6
1.3. Repositorio	7
2. Biblioteca de proyectos	8
2.1. Elaboración de proyectos	8
2.2. Base de datos	8
2.2.1. Proyectos prácticos	8
2.2.2. Proyectos compartidos	8
3. Modelo de pronóstico	9
3.1. Caudales hídricos	9
3.2. Velocidad del viento	9
4. Unidades de generación	10
4.1. Plantas térmicas	10
4.1.1. Configuración	10
4.1.2. Expansión	10
4.1.3. Combustible	10
4.2. Plantas hidroeléctricas	11
4.2.1. Configuración	11
4.2.2. Expansión	11
4.2.3. Cadenas de generación	11
4.3. Plantas menores	11
4.3.1. Configuración	12
4.3.2. Expansión	12
4.4. Plantas eólicas	13
4.4.1. Configuración	13

4.4.2. Expansión	13
4.4.3. Intensidad horaria de viento	13
4.4.4. Modelos prácticos	15
4.5. Sistemas de almacenamiento	16
4.5.1. Configuración	16
4.5.2. Expansión	16
5. Modelamiento del sistema eléctrico	18
5.1. Áreas eléctricas	18
5.2. Interconexión	18
5.2.1. Expansión de la red de transmisión	19
5.2.2. OPF - Flujo de potencia óptimo	19
5.2.3. Restricciones de seguridad	19
5.3. Demanda	20
5.4. Racionamiento	20
5.5. Bloques	21
5.5.1. Curva de demanda	21
5.5.2. Restricción de sistemas de almacenamiento	21
6. Parámetros de ejecución	22
6.1. Modularidad	22
6.2. Parámetros básicos	22
6.3. Determinístico/Estocástico	23
6.4. Aversión al riesgo	23
6.5. Variabilidad de corto plazo	23
7. Archivos de salida	25
7.1. Descarga de archivos	25
7.2. Graficador de variables	25
8. Expansión del modelo	27
8.1. Sedimentación de los embalses	27
8.2. Calculo de emisiones	27
8.3. Función de consumo de combustible	27
8.4. Función de producción de energía en hidroeléctricas	27
8.5. Curva de demanda regional/nodal	28
8.6. Restricción en la operación de las baterías	28



1. Primeros pasos

A continuación se presenta una introducción a MAEP sobre su contenido y de sus alternativas de ejecución.

1.1. Ejecución en línea

El usuario puede ingresar a través de la plataforma web y encontrar el modelo de planeamiento listo para ejecución.

1.1.1. Plataforma

La plataforma tiene un menú de navegación para ingresar de los datos del sistema eléctrico, así como de la configuración de parámetros para la ejecución de proyectos individuales.

Adicionalmente, la plataforma pone a disposición del usuario una auto-guía para familiarizarse con el modelo. Para aquellos usuarios avanzados, pueden usar la plataforma para cargar archivos o plantillas con el modelo del sistema de potencia y hacer simulación sin la necesidad de hacer ninguna instalación.

1.1.2. Tipos de usuario

Se configuran distintos tipos de usuario cuando un usuario nuevo se registra según los roles asignados por el administrador de la plataforma.

- Administrador: Tiene acceso a todas las herramientas de modelo. Crear y compartir proyectos con otros usuarios.
- Estándar: Usuario con la posibilidad de crear y simular proyectos, así como de acceder a la biblioteca publica de proyectos.
- Limitado: Acceso restringido a las herramientas de la plataforma, generalmente de solo lectura.

1.1.3. Formularios

Los formularios disponibles para ingresar la información del sistema en MAEP se indican en la Tabla 1.

Tabla 1

Formularios principales de MAEP en la plataforma web.

Librería	Descripción
Parámetros	Configuración de los parámetros de ejecución.
plantas	ingresar información sobre las plantas de generación que componen el sistema
red	ingresar información sobre la red eléctrica del sistema
demanda	ingresar información de la demanda en el horizonte de planeamiento

1.2. Ejecución local

La ejecución se logra después de descargar o clonar el repositorio del proyecto MAEP. Para un usuario con acceso a los archivos del repositorio, la figura 1 muestra estructura sobre su contenido.

El repositorio contiene tres directorios principales: documentación, interfaz web y el modelo MAEP. El directorio de la interfaz web contiene todos los archivos necesarios para instalar una plataforma web útil para la ejecución del modelo sin la necesidad de una plataforma de desarrollo.

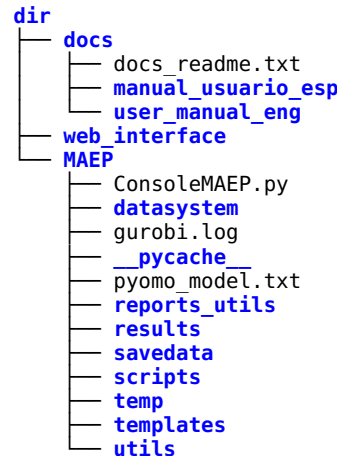


Fig. 1. Estructura sobre el contenido del repositorio

El directorio del modelo permite acceder a los scripts del código fuente, los ejercicios prácticos, los resultados del ejecución, modelos experimentales y scripts de graficación de resultados. Una vez los archivos de MAEP son guardados en un directorio local, el usuario deberá tener instalada una versión reciente de Python 3 para poder ejecutarlo. Así como instalar una serie de utilerías y paquetes requeridos por el modelo. Esto se describe a continuación.

1.2.1. Código fuente

Como lo muestra la Figura 2, dentro del directorio del modelo hay dos carpetas que contiene el cuerpo principal de MAEP.

Por un lado está la carpeta *scripts* que contiene los archivos sobre la optimización del problema. Por el otro lado, tenemos la carpeta *utils* que contiene los archivos sobre el calculo de parámetros, del modelo del sistema eléctrico, de modelos experimentales sobre la operación del sistema y los scripts para escribir y exportar los resultados una vez ejecutado.

Los paquetes y librerías requeridas en MAEP se indican en la Tabla 2.

Tabla 2

Librerías Python requeridas para ejecutar MAEP.

Librería	Descripción
Pyomo	Pyomo es un lenguaje de optimización de código abierto basado en Python que soporta un amplio rango de tipos de problemas de optimización.
solver	Pyomo permite trabajar con diferente alternativas como CPLEX, GUROBI, GLPK.

1.2.2. Entorno de desarrollo

Para trabajar sobre el código fuente puede resultar muy útil usar un entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés). Este viene generalmente con la la instalación de Python. Sin embargo, existe muchas alternativas de IDEs que facilitan el trabajo y son de código abierto. No se puede decir que in IDE es mejor que otro, ya que esto depende de que características del IDE le resultan cómodas al programador y a la vez satisfacen sus necesidades.

Sin embargo, un IDE que resulta bastante familiar en la comunidad académica, por sus similitudes con MATLAB, es Spyder Python. Este IDE de código abierto es bastante adecuado para desarrollo científico. Es un software ligero, escrito en Python y disponible de forma gratuita bajo licencia del MIT.

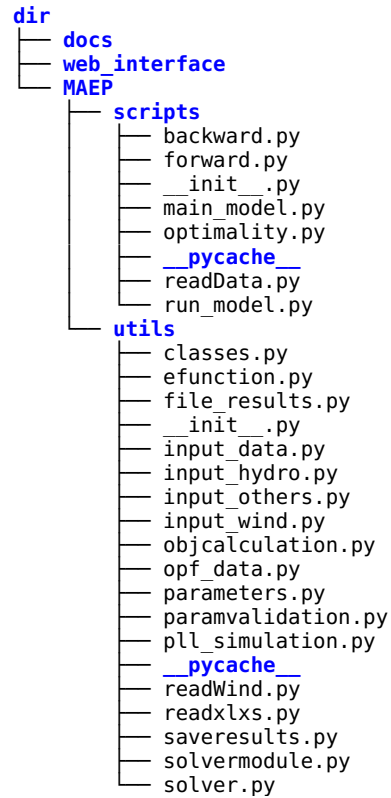


Fig. 2. Módulos que constituyen MAEP

1.3. Repositorio

Será el lugar donde se almacena el proyecto, se hará el control de versiones y se concentrará la contribución de otros usuarios para desarrollar MAEP.

Repositorio: git clone <https://jlmorill@bitbucket.org/andersonlabcu/lt-sddp.git>

2. Biblioteca de proyectos



La biblioteca de proyectos contiene los archivos de simulación listos para ser ejecutados en MAEP.

2.1. Elaboración de proyectos

Existen dos alternativas para crear proyectos:

Interfaz web: A través de la plataforma web el usuario podrá crear un proyecto desde cero, utilizando la plantilla disponible para ello. Adicionalmente, el usuario podrá utilizar plantillas base o proyectos existentes para modificarlos según sus propias necesidades.

Archivo de entrada: Para aquellos usuarios familiarizados con la herramienta, es posible crear un proyecto a través de un *archivo_entrada* que puede ser cargado en la plataforma web para ejecutar las simulaciones, o puede ser usado directamente a través de la plataforma de desarrollo.

2.2. Base de datos

Un repositorio de proyectos públicos estará disponible en MAEP. Esta base puede ser alimentada continuamente con proyectos públicos creados por los usuarios.

La figura 3 muestra la estructura sobre la base de datos en MAEP.

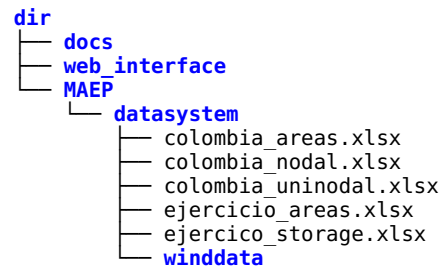


Fig. 3. Base de datos en MAEP

2.2.1. Proyectos prácticos

MAEP pondrá a disposición del usuario un conjunto de proyectos prácticos con diferentes niveles de dificultad. Desde proyectos sencillos que permitan familiarizarse con la herramienta, hasta proyectos complejos que aprovechan todas las potencialidades del modelo.

2.2.2. Proyectos compartidos

Un proyecto creado puede ser compartido y almacenado para que otros usuarios puedan usarlo y manipularlo.

En la plataforma web, cada usuario puede tomar la decisión de definir un proyecto como público o privado. Cuando un proyecto se define como privado, ningún otro usuario podrá acceder a esta información. Cuando se utiliza la plataforma de desarrollo un proyecto es necesariamente privado, a menos que este se comparta a través del repositorio público del modelo.



3. Modelo de pronóstico

En MAEP el proceso estocástico esta representado por un conjunto de posibles trayectorias (escenarios) de los afluentes hídricos y de la velocidad del viento en las plantas que componen el sistema. Estas trayectorias son independientes entre etapas y cada una tiene una respectiva probabilidad de ocurrencia.

El proceso estocástico esta modelado a través de un modelo periódico auto-regresivo, y los parámetros del modelo son estimados a partir de mediciones históricas. Adicionalmente, el modelo de pronostico permite considerar las posibles correlaciones entre los afluentes hídricos y las velocidades de vientos entre algunas plantas en el sistema.

3.1. Caudales hídricos

Define el volumen de agua que ingresa a los embalses de acuerdo con los parámetros indicados en la Tabla 3.

Tabla 3

Parámetros de los afluentes hídricos a los embalses.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
nombre		nombre del combustible	
etapa		determina el horizonte de los datos	
escenario		determina el escenario de los datos	
afluente	m3/s	afluente promedio de agua al embalse en la etapa y escenario definidos	

3.2. Velocidad del viento

Define el la velocidad de viento en el área de influencia de cada planta de acuerdo con los parámetros indicados en la Tabla 4.

Tabla 4

Parámetros de las velocidades de viento en el área de influencia de las plantas.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
nombre		nombre del combustible	
etapa		determina el horizonte de los datos	
escenario		determina el escenario de los datos	
velocidad	m/s	velocidad promedio de viento en la etapa y escenario definidos	

La información de velocidad de viento mensual pronosticada debe suministrarse en m/s, para cada una de las etapas y los escenarios considerados. Se puede utilizar los mismos datos para más de una planta, pero es necesario copiar los datos correspondientes en cada planta.

Nota: En el *archivo_entrada* los escenarios de los afluentes hídricos se ingresan en la pestaña **Inflow**, mientras que los escenarios de las velocidades de viento se ingresan en la pestaña **InflowWind**.

Nota: Cuando se usa el modelo de pronostico a través de la interfaz web, las pestañas **Inflow** e **InflowWind** son auto-completadas internamente.



4. Unidades de generación

En MAEP se pueden modelar 5 tipos de unidades de generación: Térmicas, Hidroeléctricas con embalse y filo de agua, Plantas menores, Eólicas y Sistemas de almacenamiento. Cada unidad se modela a través de parámetros técnicos y de operación. A continuación se describen las características de cada una de ellas.

4.1. Plantas térmicas

El modelamiento de plantas térmicas tiene dos componentes principales: las características técnicas de la planta y el combustible utilizado en la generación.

Adicionalmente, dado que se asume que las características técnicas están definidas para cada planta desde su año de entrada en operación, para simular la expansión del sistema se introduce la posibilidad de que cada planta sea modificada en sus parámetros durante el horizonte de planeamiento.

4.1.1. Configuración

Define las características técnicas de la plantas de acuerdo con los parámetros indicados en la Tabla 5. Los parámetros en la tabla están implementados en MAEP a menos que se indique lo contrario.

Tabla 5

Parámetros de la plantas térmicas.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
nombre		nombre de la planta	
capacidad	MW	capacidad instalada	
etapa		indica si la planta existe (E), no tiene fecha de entrada (NE), o la fecha de entrada en operación (mes-año)	
tipo		tipo de combustible de operación	
área		identificar el área donde se encuentra instalada la planta	
combustible		seleccionar un combustible entre las opciones disponibles en <i>FuelCost</i>	
duales		operación con dos tipos de combustible	No aún
gen_min	MW	capacidad mínima de operación	
gen_max	MW	capacidad máxima de operación	
inds_forzada	%	indisponibilidad forzada o programada	No aún
inds_historica	%	indisponibilidad historica	
c_variable	\$/MWh	costos variables y/o costos de transporte	
heat_rate	MBTU/MWh	eficiencia de la planta	
f_emisión	Ton/MBTU	CO2 emitido en la producción de energía	No aún

4.1.2. Expansión

Define los parámetros de aquellas plantas donde se aumenta o disminuye su capacidad a lo largo del horizonte de planeamiento, así como la instalación de nuevas plantas en el sistema, Tabla 6.

Nota: En el *archivo_entrada* las características de las plantas se definen en la pestaña **Thermal.config**, mientras que la modificación/expansión se hace a través de la pestaña **Thermal.expn**.

4.1.3. Combustible

Define las alternativas de combustibles para las plantas térmicas.

Tabla 6

Parámetros de expansión de la plantas térmicas.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
nombre		planta modificada en el horizonte de planeamiento	
etapa		determina la fecha en el horizonte cuando ocurren los cambios	
capacidad	MW	capacidad instalada	
gen_min	MW	capacidad mínima de operación	
gen_max	MW	capacidad máxima de operación	
inds_historica	%	indisponibilidad historica	
heat_rate	MBTU/MWh	eficiencia de la planta	No aún
f_emisión	Ton/MWh	CO2 emitido en la producción de energía	No aún

Tabla 7

Parámetros de combustible.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
nombre		nombre del combustible	
etapa		determina el horizonte de los datos	
costo	\$/MBTU	costo de consumo de combustible	

Nota: En el *archivo_entrada* se definen todas las alternativas de combustible en la pestaña **FuelCost**.

4.2. Plantas hidroeléctricas

El modelamiento de plantas hidroeléctricas tiene tres componentes principales: las características técnicas de la planta, la topología de las cadenas de generación, y los afluentes de hídricos.

Adicionalmente, dado que se asume que las características técnicas están definidas para cada planta desde el año de entrada en operación, para simular la expansión del sistema se introduce la posibilidad de que cada planta sea modificada en sus parámetros durante el horizonte de planeamiento.

4.2.1. Configuración

Define las características técnicas de la plantas de acuerdo con los parámetros indicados en la Tabla 8. Los parámetros en la tabla están implementados en MAEP a menos que se indique lo contrario.

4.2.2. Expansión

Define los parámetros de aquellas plantas donde se aumenta o disminuye su capacidad a lo largo del horizonte de planeamiento, así como la instalación de nuevas plantas en el sistema, Tabla 9.

Nota: En el *archivo_entrada* las características de las plantas se definen en la pestaña **Hydro.config**, mientras que la modificación/expansión se hace a través de la pestaña **Hydro.expn**.

4.2.3. Cadenas de generación

Para aquellas plantas que hacen parte de una cadena de generación, se debe ingresar la información de la topología de dicha cadena. Esta información se ingresa para cada planta, como se muestra en la Tabla 8.

La figura 4 ilustra el papel de una planta dentro de una cadena de generación.

4.3. Plantas menores

El modelamiento de plantas tiene como componente principal las características técnicas de la planta. Dado que se asume que las características técnicas están definidas para cada planta desde el año de

Tabla 8

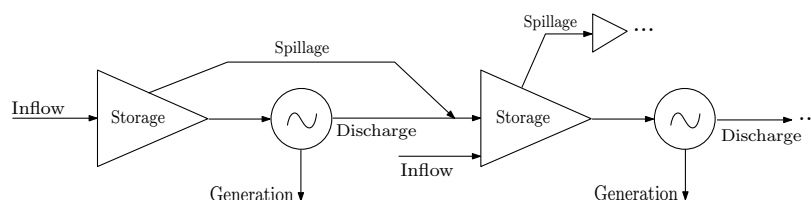
Parámetros de la plantas hidroeléctricas.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
nombre		nombre de la planta	
vol_inicial	Hm3	Volumen de agua almacenado al principio del horizonte de planeamiento	
vol_min	Hm3	Volumen mínimo de almacenamiento en el embalse	
vol_max	Hm3	Volumen máximo almacenable en el embalse	
capacidad	MW	capacidad instalada	
coef_prod	MW/m3/s	coeficiente de producción de la planta	
outflow	m3/s	volumen máximo turbinable	
etapa		indica si la planta existe (E), no tiene fecha de entrada (NE), o la fecha de entrada en operación (mes-año)	
st_etapa		indica la etapa en la que inicia el proceso de almacenamiento de agua (plantas nuevas)	
c_variable	\$/MWh	costos variables	
t_downstream		indica el nombre de la planta aguas abajo que recibirá el agua turbinada como parte de su afluente	
s_downstream		indica el nombre de la planta aguas abajo que recibirá el agua derramada como parte de su afluente	
área		identificar el área donde se encuentra instalada la planta	
tipo		identifica el tipo de embalse: regulación, desviación o almacenamiento	No aún
inds_forzada	%	indisponibilidad forzada o programada	No aún
inds_historica	%	indisponibilidad historica	
f_emisión	Ton/MWh	CO2 emitido en la producción de energía	No aún

Tabla 9

Parámetros de expansión de las plantas hidroeléctricas.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
nombre		nombre de la planta	
capacidad	MW	capacidad instalada	
coef_prod	MW/m3/s	coeficiente de producción de la planta	
outflow	m3/s	volumen máximo turbinable	
etapa		determina la fecha en el horizonte cuando ocurren los cambios	
f_emisión	Ton/MWh	CO2 emitido en la producción de energía	No aún
inds_forzada	%	indisponibilidad forzada o programada	No aún
inds_historica	%	indisponibilidad historica	
vol_max	Hm3	Volumen máximo almacenable en el embalse	No aún

**Fig. 4.** Cadenas de generación - hidroeléctricas

entrada en operación, para simular la expansión del sistema se introduce la posibilidad de que cada planta sea modificada en sus parámetros durante el horizonte de planeamiento.

4.3.1. Configuración

Define las características técnicas de la plantas de acuerdo con los parámetros indicados en la Tabla 10. Los parámetros en la tabla están implementados en MAEP a menos que se indique lo contrario.

4.3.2. Expansión

Define los parámetros de aquellas plantas donde se aumenta o disminuye su capacidad a lo largo del horizonte de planeamiento, así como la instalación de nuevas plantas en el sistema, Tabla 11.

Tabla 10

Parámetros de la plantas menores.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
nombre		nombre de la planta	
capacidad	MW	capacidad instalada	
etapa		indica si la planta existe (E), no tiene fecha de entrada (NE), o la fecha de entrada en operación (mes-año)	
tipo		tipo de combustible de operación	
área		identificar el área donde se encuentra instalada la planta	
gen_min	MW	capacidad mínima de operación	
gen_max	MW	capacidad máxima de operación	
inds_forzada	%	indisponibilidad forzada o programada	No aún
inds_historica	%	indisponibilidad historica	

Tabla 11

Parámetros de expansión de la plantas menores.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
nombre		planta modificada en el horizonte de planeamiento	
etapa		determina la fecha en el horizonte cuando ocurren los cambios	
capacidad	MW	capacidad instalada	
inds_forzada	%	indisponibilidad forzada o programada	No aún
inds_historica	%	indisponibilidad historica	

Nota: En el *archivo_entrada* las características de las plantas se definen en la pestaña **Small.config**, mientras que la modificación/expansión se hace a través de la pestaña **Small.expn**.

4.4. Plantas eólicas

El modelamiento de plantas hidroeléctricas tiene tres componentes principales: las características técnicas de la planta, las velocidades de viento en el área de influencia de las plantas, y la variabilidad de corto plazo estimada sobre los pronósticos de velocidad del viento.

Adicionalmente, dado que se asume que las características técnicas están definidas para cada planta desde el año de entrada en operación, para simular la expansión del sistema se introduce la posibilidad de que cada planta sea modificada en sus parámetros durante el horizonte de planeamiento.

4.4.1. Configuración

Define las características técnicas de la plantas de acuerdo con los parámetros indicados en la Tabla 12. Los parámetros en la tabla están implementados en MAEP a menos que se indique lo contrario.

4.4.2. Expansión

Define los parámetros de aquellas plantas donde se aumenta o disminuye su capacidad a lo largo del horizonte de planeamiento, así como la instalación de nuevas plantas en el sistema, Tabla 13.

Nota: En el *archivo_entrada* las características de las plantas se definen en la pestaña **Wind.config**, mientras que la modificación/expansión se hace a través de la pestaña **Wind.expn**.

4.4.3. Intensidad horaria de viento

Define el la intensidad de velocidad de viento en cada uno de los bloques en los que se divide una etapa con respecto a la velocidad promedio mensual. Los parámetros de ingreso de datos se indican en la Tabla 14.

Tabla 12

Parámetros de la plantas eólicas.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
nombre		nombre de la planta	
capacidad	MW	capacidad instalada	
disponibilidad	min: 0, max: 1	factor típico de disponibilidad del parque eólico, teniendo en cuenta mantenimientos, salidas forzadas, etc.	
densidad	Kg/m3	densidad del aire	
eficiencia	min: 0, max: 1	eficiencia de la turbina de viento	
diámetro	m	diámetro del rotor de las turbinas	
vel.nominal	m/s	velocidad nominal de la turbina	
etapa		indica si la planta existe (E), no tiene fecha de entrada (NE), o la fecha de entrada en operación (mes-año)	
st.etapa		indica la etapa en la que inicia el proceso de almacenamiento (baterías)	No aún
área		identificar el área donde se encuentra instalada la planta	
inds.forzada	%	indisponibilidad forzada o programada	No aún
variabilidad	%	variabilidad esperada en las mediciones de velocidad del viento	
vel_min	m/s	velocidad mínima de seguridad de la turbina	
vel_max	m/s	velocidad máxima de seguridad de la turbina	
lim.Betz	min: 0, max: 1	limite de transformación de la energía cinética del viento en energía mecánica	
f.emisión	Ton/MWh	CO2 emitido en la producción de energía	No aún
c.variable	\$/MWh	costos variables	No aún

Tabla 13

Parámetros de expansión de las plantas eólicas.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
nombre		nombre de la planta	
etapa		determina la fecha en el horizonte cuando ocurren los cambios	
capacidad	MW	nueva capacidad instalada	
eficiencia	min: 0, max: 1	eficiencia de la turbina de viento	
sin_definir			
inds.forzada	%	indisponibilidad forzada o programada	No aún
sin_definir			
pérdidas	min: 0, max: 1	pérdidas en la transformación de energía	No aún

Con el fin de incorporar la variabilidad intradiaria de la velocidad de viento en el modelo, son necesario ingresar los factores que permitan relacionar la media mensual obtenida por el modelo de pronóstico con velocidades típicas para cada hora de cada mes del año.

Tabla 14

Parámetros de las velocidades de viento en el área de influencia de las plantas.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
nombre		nombre del combustible	
etapa		determina el horizonte de los datos	
escenario		determina el escenario de los datos	
velocidad	m/s	velocidad promedio de viento en la etapa y escenario definidos	

Nota: En el *archivo_entrada* las velocidades de viento se definen en la pestaña **InflowWind**, mientras que los índices de intensidad se definen a través de la pestaña **SpeedIndices**.

■ *Modulo experimental:*

El modelo puede recibir como entrada una matriz de 12x24 factores definidos como en (1):

$$f_{m,h} = \frac{\bar{v}_{h,m}}{\bar{v}_m} \quad (1)$$

Donde $\bar{v}_{h,m}$ es el promedio de todas las velocidades medidas durante la hora h del mes m , y \bar{v}_m es el promedio de todas las velocidades medidas durante el mes m (es decir, la media mensual). Estos factores permiten estimar la velocidad del viento en cualquier hora y cualquier mes, partiendo del pronóstico mensual.

Sin embargo, si dispone de mediciones diezminutales de viento, es posible cargar los archivos con las mediciones para cada año de forma independiente. Con esta información disponible, el modelo calcula los índices de intensidad a partir de información histórica. El formato requerido se presenta a continuación en la Figura 5.

	A	B
1		W001
2	2015-01-01 00:00:00	9.735
3	2015-01-01 00:10:00	11.699
4	2015-01-01 00:20:00	10.909
5	2015-01-01 00:30:00	11.426
6	2015-01-01 00:40:00	11.919
7	2015-01-01 00:50:00	9.91

Fig. 5. Formato requerido para los archivos de mediciones diezminutales

Los datos deben tener un encabezado que indique a qué estación meteorológica corresponden en la primera fila (W001, W002, ...). El archivo debe contener dos columnas con la fecha y hora de la medición (con el formato especificado en la 5), y la velocidad de viento medida. Las mediciones de cada año deben estar en archivo independientes.

4.4.4. Modelos prácticos

Modelo eólico - M2

Este modelo de generación de plantas eólicas está diseñado para trabajar con la información real de un proyecto eólico en lugar del modelo teórico presentado anteriormente. Por lo tanto, requiere información sobre los aerogeneradores que serán instalados en el proyecto. Específicamente, se necesitan las curvas de potencia y de coeficiente de empuje (thrust coefficient, denotado típicamente como C_T) de los aerogeneradores. Dado que la resolución de las curvas que entregan los fabricantes es variable, el tamaño de los vectores de las curvas no está fijo sino que se determina por los datos que ingrese el usuario.

En la Tabla 15 se definen las características técnicas de las plantas de acuerdo con los parámetros indicados. Los parámetros en la tabla están implementados en MAEP a menos que se indique lo contrario.

La velocidad mínima del viento, a la cual las turbinas del parque eólico inician la producción de energía, corresponde a la mínima velocidad a la cual se especifican las curvas de potencia y coeficiente de empuje. Mientras que la velocidad máxima, a la cual las turbinas del parque eólico detienen la producción de energía (por razones de seguridad de los componentes), corresponde a la máxima velocidad a la cual se especifican las curvas de potencia y coeficiente de empuje.

La resolución de velocidad indica el tamaño del intervalo para el que se especifican las curvas de potencia y coeficiente de empuje. Por ejemplo, para una turbina con velocidad de arranque (mínima) igual a 3 m/s, velocidad de parada (máxima) igual a 21 m/s, con datos en resolución de 1 m/s, se esperan curvas de potencia y coeficiente de empuje de 19 elementos, mientras que si la resolución es de 0.5 m/s, se esperarían vectores de 37 elementos.

Por simplicidad, se asume que se puede modelar la ubicación de las turbinas dentro del parque eólico como una organización por filas, una detrás de otra, con respecto a la dirección predominante del frente de viento. De esta manera, la primera fila de turbinas recibe plenamente el frente de viento, mientras que la segunda fila lo recibe afectado por la primera fila, y así sucesivamente.

Tabla 15

Parámetros de la plantas eólicas - M2.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
nombre		nombre de la planta	
capacidad	MW	capacidad instalada	
disponibilidad	min: 0, max: 1	factor típico de disponibilidad del parque eólico, teniendo en cuenta mantenimientos, salidas forzadas, etc.	
vel_min	m/s	velocidad mínima de seguridad de la turbina	
vel_max	m/s	velocidad máxima de seguridad de la turbina	
resolución	m/s	franja de velocidad de viento a la cual se especifican las curvas de potencia y coeficiente de empuje	
altura_medida	m	altura a la que fueron hechas las estimaciones del pronóstico de viento	
altura_buje	m	altura de buje de las turbinas	
factor_ajuste		factor de corrección de altura de las mediciones de velocidad de viento	
densidad	Kg/m3	densidad del aire	
distancia	m	distancia entre las filas de turbinas del parque eólico	
diámetro	m	diámetro del rotor de las turbinas	
etapa		indica si la planta existe (E), no tiene fecha de entrada (NE), o la fecha de entrada en operación (mes-año)	
área		identificar el área donde se encuentra instalada la planta	
archivo		archivo que contiene los datos de viento diezminutales	No aún
filas		número de hileras de turbinas que componen el proyecto	

Adicionalmente, en la Tabla 16 se indica la información de entrada para la definir la curva de potencia de cada planta eólica.

Tabla 16

Curva de potencia para cada planta eólica.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
P	MW	curva de potencia (potencia en función de la velocidad)	
CT		coeficiente de empuje	
TpR		número de turbinas por fila	

Nota: En el *archivo_entrada*, las características de las plantas se definen en la pestaña **Wind.M2.config**, mientras que la información sobre las curvas de potencia se introduce a través de la pestaña **WPowCurve.M2**. Las velocidades de viento para el modelo experimental se definen en la pestaña **InflowWind.M2**, mientras que los índices de intensidad se definen a través de la pestaña **SpeedIndices.M2**. Estos últimos conservando el mismo formato que el usado en el modelo teórico.

4.5. Sistemas de almacenamiento

El modelamiento de los sistemas de almacenamiento tiene dos componentes principales: las características técnicas de la planta, y las restricciones sobre su operación.

4.5.1. Configuración

Define las características técnicas de la plantas de acuerdo con los parámetros indicados en la Tabla 17. Los parámetros en la tabla están implementados en MAEP a menos que se indique lo contrario.

4.5.2. Expansión

Define los parámetros de aquellas sistemas de almacenamiento donde se aumenta o disminuye su capacidad a lo largo del horizonte de planeamiento, así como la instalación de nueva capacidad en el sistema, Tabla 18.

Tabla 17

Parámetros de los sistemas de almacenamiento.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
nombre		nombre de la planta	
alm_inicial	min: 0, max: 1	nivel de energía almacenada al principio del horizonte de planeamiento	
alm_min	min: 0, max: 1	nivel mínimo de almacenamiento de energía	
alm_max	min: 0, max: 1	nivel máximo almacenable de energía	
capacidad	MW	capacidad instalada	
eficiencia	min: 0, max: 1	factor de eficiencia en la carga/descarga de energía	
outflow	MWh/s	capacidad de descarga del sistema de almacenamiento	
etapa		indica si la planta existe (E), no tiene fecha de entrada (NE), o la fecha de entrada en operación (mes-año)	
enlace		operación conjunta de varios sistemas de almacenamiento	No aún
portafolio		indica si forma un portafolio eólico/almacenamiento	No aún
área		identificar el área donde se encuentra instalada la planta	
inds_forzada	%	indisponibilidad forzada o programada	No aún
inds_historica	%	indisponibilidad historica	
power_rate	MWh	capacidad de almacenamiento	

Tabla 18

Parámetros de expansión de los sistemas de almacenamiento.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
nombre		nombre de la planta	
etapa		determina la fecha en el horizonte cuando ocurren los cambios	
capacidad	MW	nueva capacidad instalada	
eficiencia	min: 0, max: 1	factor de eficiencia en la carga/descarga de energía	
outflow	MWh/s	nueva capacidad de descarga del sistema de almacenamiento	
inds_forzada	%	indisponibilidad forzada o programada	No aún
inds_historica	%	indisponibilidad historica	
power_rate	MWh	nueva capacidad de almacenamiento	No aún

Nota: En el *archivo_entrada* as características de los sistemas de almacenamiento se definen en la pestaña **Storage.config**, mientras que la modificación/expansión se hace a través de la pestaña **Storage.expn**.



5. Modelamiento del sistema eléctrico

Los parámetros de modelamiento descritos a continuación determinan las características principales del sistema de potencia y de la resolución temporal usada en el planeamiento de la operación. Los parámetros en la tabla están implementados en MAEP a menos que se indique lo contrario.

5.1. Áreas eléctricas

MAEP soporta sistemas de tipo uninodal, multi-área o multi-nodal. Al definir el tipo se determina si la red de transmisión es o no incluida en el análisis. La Tabla 19 indica la información requerida para modelar este parámetro.

Tabla 19

Definición de áreas o nodos del sistema.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
nombre		define las áreas o nodos que componen el sistema	

Nota: En el *archivo_entrada* las áreas/nodos se definen a través de la pestaña **Áreas**.

5.2. Interconexión

Cuando el usuario ha definido la existencia de mas de un área o nodo, es necesario definir las características de conexión entre ellas. La Tabla 20 indica la información requerida para modelar este parámetro.

En un sistema multi-área existen dos alternativas: usar un modelo de intercambios o un modelo de red equivalente. En el modelo de intercambio se requiere definir la topología de conexión mediante la identificación de las áreas conectadas y la capacidad de transferencia de energía entre ellas. Esta capacidad puede ser direccional, tal que si es necesario se puedan establecer diferentes límites de intercambio dependiendo del sentido del flujo de potencia.

Tabla 20

Define las características de conexión entre áreas o nodos.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
i_nodo		define el nodo inicial de una conexión entre áreas o nodos	
f_nodo		define el nodo final de una conexión entre áreas o nodos	
i_to_f	MW	define el límite de capacidad de la conexión considerando la dirección del flujo, i_nodo a f_nodo	
f_to_i	MW	define el límite de capacidad de la conexión considerando la dirección del flujo, f_nodo a i_nodo	
eficiencia		factor que define la eficiencia en la transferencia de energía en la conexión	
resistencia	%	parámetro de la conexión definida en p.u	
reactancia	%	parámetro de la conexión definida en p.u	

En el modelo de red equivalente se deben definir los parámetros de resistencia y reactancia del enlace entre áreas, los cuales son usados para evaluar un flujo de carga óptimo. Tales parámetros se deben ingresar en *por unidad*, definido como la relación entre su valor y la potencia base del sistema. Adicionalmente, las pérdidas de energía debido a la transferencia se incluyen a través de un factor constante de eficiencia.

Por otro lado, para simular un sistema multi-nodal se debe ingresar información completa de la red diligenciando todos los parámetros en la Tabla 20. En sistemas de grandes dimensiones, el modo multi-nodal impone un gran número de restricciones al problema de optimización y, por lo tanto, incrementa en gran medida los tiempos de simulación. La eficiencia en la construcción del modo multi-nodal es una oportunidad abierta en el desarrollo y evolución de este modelo.

5.2.1. Expansión de la red de transmisión

Para simular la expansión de la red de transmisión, o nuevos equivalentes de conexión, se introduce la posibilidad de que los parámetros de interconexión se modifiquen durante el horizonte de planeamiento. La Tabla 21 indica la información requerida para modelar dicha expansión. Los parámetros en la tabla están implementados en MAEP a menos que se indique lo contrario.

Tabla 21

Modifica las características de conexión entre áreas o nodos.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
etapa		determina la fecha en el horizonte cuando ocurren los cambios	
i_to.f	MW	define el nuevo límite de capacidad de la conexión considerando la dirección del flujo, i_nodo a f_nodo	
f_to.i	MW	define el nuevo límite de capacidad de la conexión considerando la dirección del flujo, f_nodo a i_nodo	
eficiencia		factor que define la nueva eficiencia en la transferencia de energía en la conexión	No aún
resistencia	%	parámetro de la conexión definida en p.u	
reactancia	%	parámetro de la conexión definida en p.u	

Nota: En el *archivo_entrada* la interconexión/red se ingresa por medio de la pestaña **Lines**, mientras que la modificación/expansión se hace a través de la pestaña **Lines.expn**.

5.2.2. OPF - Flujo de potencia óptimo

MAEP contiene un modelo de flujo de potencia linealizado en el cual el balance de energía en cada nodo se mantiene (primera ley de Kirchhoff), las tensiones siguen la segunda ley de Kirchhoff, y se respetan los límites en los flujos de los circuitos. Todas las restricciones son linealizadas para incluirlas en la formulación del problema de optimización y se expresan a través del vector de decisiones del problema.

5.2.3. Restricciones de seguridad

MAEP permite ingresar restricciones de suma de flujo de potencia en líneas seleccionadas por el planeador, considerando la dirección del flujo, para considerar operación de seguridad de la red o para mantener límites técnicos de operación de la red. La Tabla 21 indica la información requerida para ingresar dicha restricción.

Tabla 22

Define las restricciones de suma de flujo en los circuitos.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
id		permite ingresar un identificador numérico a la restricción	No aún
lineas		identifica el numero de lineas involucradas en la restricción	
limite	MW	define el límite en potencia para la capacidad de transferencia agregada de las líneas involucradas	
e_inicial		determina la fecha en el horizonte cuando empieza la restricción	
e_final		determina la fecha en el horizonte cuando finaliza la restricción	
NI_I		nodo de entrada a la línea	
NF_I		nodo de salida a la línea	

La definición de nodo de entrada y nodo de salida para las líneas involucradas en cada restricción, tiene la intención de fijar cual es la dirección del flujo que se desea restringir con la formulación. Sin embargo, a pesar de que es posible ingresar cualquier número de restricciones, el número de líneas involucradas en cada restricción esta limitada a seis.

Nota: En el *archivo_entrada* la restricción de suma de flujos se ingresa por medio de la pestaña **FlowGates**.

5.3. Demanda

Ya sea con un sistema uninodal, multi-área o multi-nodal, el modelo requiere que el usuario ingrese la demanda total del sistema. Si el sistema es uninodal, dicha demanda corresponderá al único nodo modelado. De otra manera, es necesario ingresar los factores de participación de las áreas o nodos en la demanda total.

La demanda determina el posible horizonte de planeamiento y su resolución temporal. En la Tabla 23 se indica la información requerida para modelar este parámetro.

Tabla 23

Parámetros de demanda del sistema.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
etapa	MW	determina el horizonte de la demanda (mensual o semanal ¹)	
total		demanda total del sistema	
f.área		factor de demanda por área que multiplica la demanda	

¹ En etapa de implementación

Nota: En el *archivo_entrada* la demanda se definen en la pestaña **Demand**.

5.4. Racionamiento

Los costos de racionamiento determinan el costo de no atender la demanda. En la Tabla 24 se indica la información requerida para modelar este parámetro.

Tabla 24

Define los costos de no atender la demanda.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
etapa	\$/MWh	determina el horizonte de los datos	
costo		costo de racionamiento en el segmento	
segmento		segmentos de costo de racionamiento variable	

No aún

Los segmentos en el costo permiten representar costos incrementales de la demanda no atendida. Esto se logra a través de una función lineal por partes, aun en etapa de implementación.

Nota: En el *archivo_entrada* los costos de racionamiento se definen en la pestaña **RationingCosts**.

5.5. Bloques

Los bloques representan la resolución intra-etapa del modelo de operación. Un mayor número de bloques permitiría incrementar el nivel de detalle en la operación, Sin embargo, lo mismo también hace que la complejidad y el tiempo comunicacional para encontrar la solución aumente.

MAEP permite ingresar cualquier numero de bloques desde 1 hasta 48. No obstante, se recomienda usar 24 bloques. De esta manera el modelo puede trabajar con resoluciones horarias dentro de un modelo de largo plazo. Mucha información de las variables de entrada se puede encontrar de forma horaria, así como también esta resolución es favorable para modelar restricciones de operación.

Tabla 25 indica la información requerida para modelar este parámetro.

Tabla 25

Define la resolución temporal intra-etapa.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
bloque		determina el numero de bloques por cada etapa de análisis	
duración		factor que determina la duración del bloque dentro de cada etapa	

5.5.1. Curva de demanda

Tabla 26 indica la información requerida para modelar este parámetro.

Tabla 26

Define la participación de la demanda intra-etapa.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
bloque		determina el numero de bloques por cada etapa de análisis	
f_dmd		factor de multiplica la demanda total de la etapa y determina la demanda pico del bloque	

5.5.2. Restricción de sistemas de almacenamiento

MAEP permite establecer restricciones en la operación de los sistemas de almacenamiento, tal que las unidades operan en específicos bloques dentro de una etapa de operación. Esta función permite simular una operación forzada de carga y/o descarga siguiendo un perfil determinado por el planeador.

soporta sistemas de tipo uninodal, multi-área o multi-nodal. Al definir el tipo se determina si la red de transmisión es o no incluida en el análisis. La Tabla 27 indica la información requerida para modelar este parámetro.

Tabla 27

Define la operación del almacenamiento intra-etapa.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
bloque		determina el numero de bloques por cada etapa de análisis	
b_strg	0,1	variable binaria que condiciona la operación de los sistemas de almacenamiento. 0 = No opera en el bloque. 1 = opera en el bloque.	

Nota: En el *archivo_entrada* la resolución intra-etapa, la participación de la demanda y las restricciones de operación de los sistemas de almacenamiento se definen a través de la pestaña **Blocks**.



6. Parámetros de ejecución

Los parámetros de ejecución son aquellos que le dan control al usuario sobre el tipo de análisis que desea realizar. A través de estos parámetros se definen cuales de los módulos que integran MAEP serán usados, las dimensiones del problema, así como los parámetros primarios requeridos previos a la ejecución del modelo.

Estos parámetros se ingresan/seleccionan a través de la interfaz web. Cuando se usa el código fuente dentro un entorno de desarrollo o una terminal, los parámetros se ingresan a través del script de consola principal.

6.1. Modularidad

La modularidad es uno de los aspectos mas importantes de MAEP. Es por esta característica que es posible expandir y explotar las potencialidades del modelo.

Cada modulo esta desarrollado para que se ajuste a la estructura del modelo principal, tal que le añada funcionalidades al modelo pero que pueda ser desconectado de la estructura si su ejecución no es necesaria o presente fallos. La Tabla 28 describe los módulos principales y auxiliares en la versión actual del modelo.

Tabla 28

Módulos principales y auxiliares en la versión actual del modelo.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
política	True - False	calcula la política de operación del sistema cuando se ejecuta el modelo	
simulación	True - False	ejecuta la simulación de operación del sistema usando una política de operación calculada previamente	
paralelización	True - False	paraleliza la ejecución para optimizar los tiempos de computo	No aún
lectura	True - False	leer y dar formato a la información de entrada del sistema	
parámetros	True - False	calcula los parámetros internos a partir de la información de entrada	
opf	True - False	introduce las restricciones de flujo de potencia en el modelo	
eólico_M2	True - False	introduce el modelo práctico eólico_M2 en el modelo	
sum.flujos	True - False	introduce las restricciones de seguridad de operación en el modelo	

6.2. Parámetros básicos

Tanto módulos principales como auxiliares se ejecutan a partir de parámetros básicos.

El primero de ellos tiene que ver con indicarle al modelo el nombre del *archivo_entrada*. Este archivo que contiene toda la información del sistema debe ser leído y puesta en el formato de entrada del resto de módulos. En un proyecto ejecutado, el módulo de lectura puede ser desactivado siempre y cuando el archivo *archivo_entrada* no presente ningún cambio. La ejecución de este modulo incrementa los tiempos de computo, dependiendo del tamaño del sistema.

El segundo conjunto de parámetros tiene que ver con la configuración de ejecución del algoritmo SDDP y el horizonte de análisis. El tercer conjunto, tiene que ver con la opción de introducir sensibilidades a los parámetros principales del modelo. Esta versión de MAEP solamente tiene disponible la utilización de un factor de sensibilidad sobre la demanda.

Tabla 29 indica la información requerida para ingresar los parámetros básicos.

Tabla 29

Define la operación del almacenamiento intra-etapa.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
archivo		archivo que contiene todos los datos del sistema	
max_iter		numero máximo de iteraciones	
e_extra		etapas extra en el horizonte de planeamiento para eliminar los efectos de una función de costo futuro igual a cero al final de horizonte	
etapas		horizonte de planeamiento	
s_Backward		número de etapas backward	
s_Forward		número de etapas forward	
sens_dem		factor de sensibilidad sobre la demanda	

6.3. Determinístico/Estocástico

El número de etapas backward y forward determinan el tipo de modelo usado. Si el número de etapas backward es igual a uno, entonces la política de operación se determina usando un modelo determinístico. Lo mismo ocurre con la simulación de la operación si el número de etapas forward es igual a uno. Por lo tanto, el tipo determinístico y el estocástico pueden ir combinados dependiendo de las preferencia del usuario.

6.4. Aversión al riesgo

El enfoque de aversión al riesgo pretende lograr una política de operación con un adecuado trade-off entre la minimización del costo esperado de operación sobre todos los escenarios y un nivel de protección a la operación del sistema contra la ocurrencia de escenarios críticos de disponibilidad de recursos de generación (agua y viento). Con la integración de fuentes renovables en sistemas hidrotérmicos, la evaluación de este riesgo es crucial para enfrentar el incremento en la incertidumbre que se debe manejar para simular la operación del sistema en el largo plazo.

La evaluación del riesgo se hace a través de la metodología del CVaR (valor condicional en riesgo), la cual busca que la probabilidad de ocurrencia de que el sistema incurra en excesivos costos de operación sea menor que en un caso riesgo-neutral. Para ello es necesario definir un determinado nivel de confianza a la evaluación del riesgo, y un parámetro de ponderación entre el una evaluación riesgo-neutral y de aversión al riesgo. Tabla 30 indica la información requerida para modelar estos parámetros.

Tabla 30

Define la medida de riesgo de largo plazo.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
eps_risk	min: 0.5, max: 1	nivel de confianza en la evaluación del riesgo	
commit	min: 0, max: 1	ponderación entre una evaluación riesgo-neutral y de aversión al riesgo	

6.5. Variabilidad de corto plazo

Para cada realización del proceso estocástico, es posible aumentar el nivel de seguridad en el balance de corto plazo entre suministro y demanda considerando la variabilidad de las fuentes renovables.

Por lo tanto, se establece un nivel de confianza en el balance energético, tal que el balance se mantiene con un alto nivel de probabilidad. Para ello, esta ecuación embebida en el problema de una sola etapa, se representa a través de una restricción probabilística tal que se asegure que la probabilidad de lograr un balance de corto plazo dada la variabilidad de las fuentes eólica se mantiene en un alto valor con un nivel de confianza $(1 - \varepsilon_z)$.

Es necesario establecer un nivel de confianza por áreas y para todo el sistema. La Tabla 31 indica la información requerida para modelar este parámetro.

Tabla 31

Define la medida de riesgo de corto plazo.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
eps_área	min: 0.5, max: 1	nivel de confianza en la evaluación del riesgo de corto plazo para cada una de las áreas	No aún
eps_all	min: 0.5, max: 1	nivel de confianza en la evaluación del riesgo de corto plazo para todo el sistema	



7. Archivos de salida

Después de ejecutar MAEP, bien sea a través de la plataforma web o la plataforma de desarrollo, este entregará un archivo con los resultados principales de acuerdo con los requerimientos del usuario.

7.1. Descarga de archivos

A través de la plataforma web el usuario tendrá acceso a archivos .csv y .xlsx con todas las variables de resultados en archivos. El usuario podrá descargar todos o archivos individuales según lo requiere.

A través de la plataforma de desarrollo es posible obtener resultados parciales con un visualizador de variables en Python. Al final de la ejecución, el usuario tendrá acceso a los mismos archivos que a través de la plataforma web.

La figura 6 muestra la estructura sobre los resultados en MAEP.

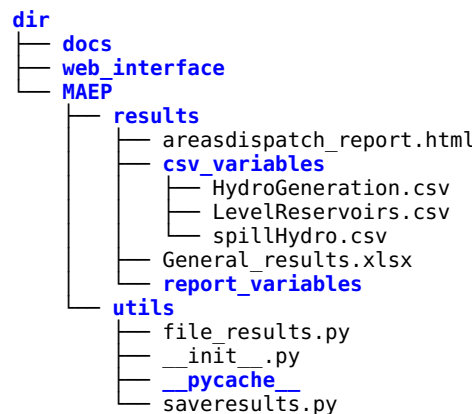


Fig. 6. Base de datos en MAEP

7.2. Graficador de variables

MAEP también ofrece un graficador experimental de variables. A través de la plataforma web se presentarán gráficamente los resultados de las variables básicas del problema.

Sin embargo, a través de la plataforma de desarrollo, MAEP cuenta con scripts de prueba que pueden ser manipulados por el usuario para personalizar el tipo de gráfico y las variables que desee visualizar. Dichos módulos pueden ser desarrollados por los usuarios e integrados al modelo principal de forma modular.

La figura 7 muestra la estructura sobre el graficador en MAEP.

```
dir
├── docs
├── web_interface
└── MAEP
    ├── reports_utils
    ├── curves_report.py
    ├── dispatch.py
    ├── __init__.py
    ├── __pycache__
    ├── reports_1.py
    ├── reports_2.py
    ├── reports_3.py
    └── reports_etc.py
```

Fig. 7. Base de datos en MAEP



8. Expansión del modelo

Las siguientes características o alternativas de operación, sobre algunos componentes del sistema, esta en fase de implementación o en etapa experimental. Las potencialidades del modelo sobre las posibilidades de análisis de la operación se ilustran a través de los nuevos modelos o desarrollos que se integren a MAEP en el futuro.

8.1. Sedimentación de los embalses

La formulación del almacenamiento en los embalses se puede modificar para considerar una posible disminución del volumen efectivo a lo largo del horizonte de planeamiento, lo cual tiene implicaciones en la disponibilidad del recurso para la generación de energía.

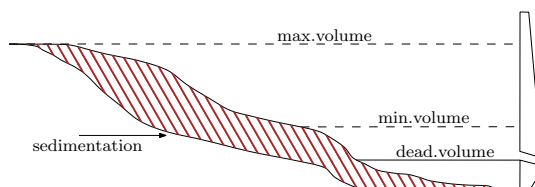


Fig. 8. Sedimentación de los embalses.

8.2. Cálculo de emisiones

Los parámetros de configuración de plantas pueden incluir los factores de emisión de sus respectivas tecnologías y de acuerdo a las características de cada planta. En el caso de las plantas térmicas, de acuerdo al tipo de combustible usado en el proceso de generación.

Tabla 32

Parámetros de emisiones de CO₂.

Tipo	Unidades	Descripción	Implementado
Térmica	Ton/MBTU	CO ₂ emitido en la producción de energía	No aún
Hidro	Ton/MWh	CO ₂ emitido en la producción de energía	No aún
Menores	Ton/MWh	CO ₂ emitido en la producción de energía	No aún
Eólica	Ton/MWh	CO ₂ emitido en la producción de energía	No aún

8.3. Función de consumo de combustible

El consumo de combustible en el procesos de generación de las plantas térmicas se representa a través de una expresión no lineal. Sin embargo, para garantizar la convergencia del modelo, esta función se aproxima a través de una función por partes. Como se muestra en la figura 9, la función de costos de generación de plantas térmicas se linealiza y se substituye por un conjunto de segmentos.

8.4. Función de producción de energía en hidroeléctricas

La función de producción de energía se obtiene de acuerdo a un factor de producción variable que depende del nivel del embalse cada instante durante el horizonte de análisis, en lugar de usar un factor de producción constante.

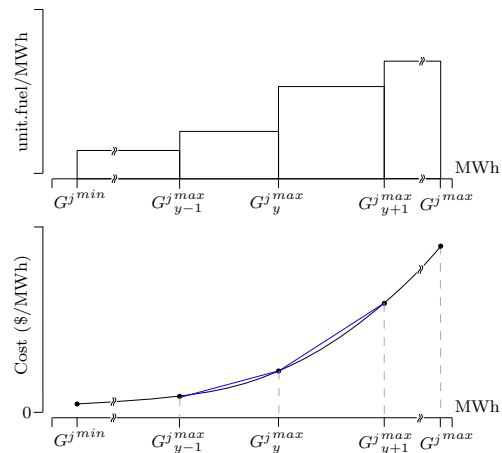


Fig. 9. Función de costos lineal por partes de plantas térmicas.

8.5. Curva de demanda regional/nodal

El parámetro que permite ingresar la curva de demanda (mirar Tabla 26) se puede modificar para ingresar una la curva de demanda que identifique cada región/nodo, como se indica en la Tabla 33.

Tabla 33
Define la participación de la demanda regional/nodal intra-etapa.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
bloque		determina el numero de bloques por cada etapa de análisis	
f.dmd		factor de multiplica la demanda nodal/regional de la etapa y determina la demanda pico del bloque	

8.6. Restricción en la operación de las baterías

La restricción sobre la operación de los sistemas de almacenamiento se puede modificar para que se trate de restricciones individuales y no una restricción general de la operación del sistema, como se muestra en la Tabla 27. La Tabla 34 indica la información requerida para modificar este parámetro.

Tabla 34
Define la operación del almacenamiento intra-etapa, por cada unidad instalada.

Parámetro	Unidades	Descripción	Implementado
bloque		determina el numero de bloques por cada etapa de análisis	
b.strg	0,1	variable binaria que condiciona la operación de cada sistema de almace- namiento. 0 = No opera en el bloque. 1 = opera en el bloque.	