

Grupo de Planeamiento en Sistemas
Eléctricos - Universidad
Tecnológica de Pereira - Año 2005



Planeamiento de Pequeñas Centrales Utilizando Simulación de Monte Carlo y Optimización Mediante Puntos Interiores



Lina Paola Garcés Negrete
Oscar Gómez Carmona
Carlos Julio Zapata



Contenido

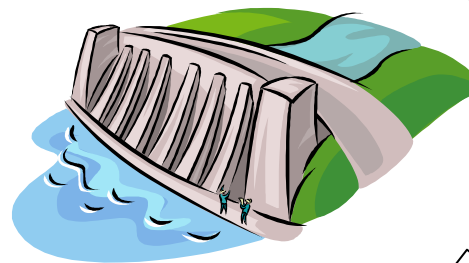
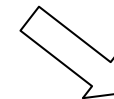
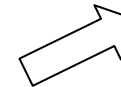
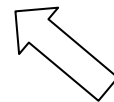
Introducción

Tamaño
óptimo

Selección de
configuración

Caso de
Estudio

Resultados y
Conclusiones



Contenido

Introducción

Tamaño óptimo

Selección de configuración

Caso de Estudio

Resultados y Conclusiones

En el presente trabajo se expone una metodología para determinar el tamaño y la configuración óptima de una pequeña central hidroeléctrica utilizando técnicas de simulación cronológica y procedimientos de optimización para el despacho de la central.



Contenido

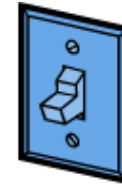
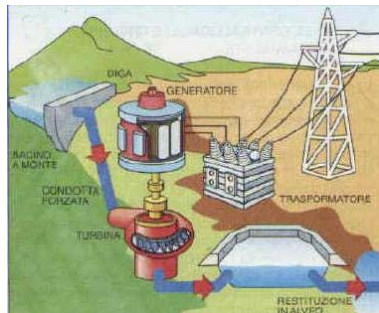
Introducción

Tamaño óptimo

Selección de configuración

Caso de Estudio

Resultados y Conclusiones



Requerimientos de la red



Características del recurso hidrológico



Tamaño óptimo de la planta



Contenido

Introducción

Tamaño óptimo

Selección de configuración

Caso de Estudio

Resultados y Conclusiones

La metodología propuesta, considera el caudal del recurso hidráulico como variable principal de decisión e implementa una simulación cronológica de Monte Carlo con la cual se obtiene un estimativo de la capacidad total de la nueva central



Contenido

Introducción

Tamaño óptimo

Selección de configuración

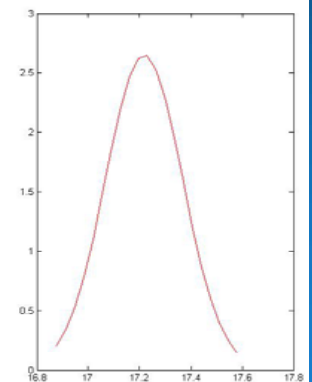
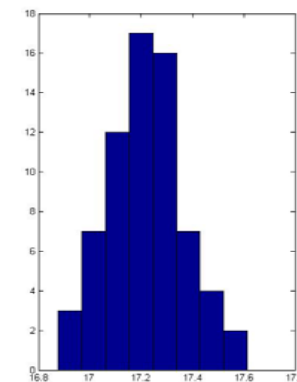
Caso de Estudio

Resultados y Conclusiones

El objetivo, inicialmente, es determinar un modelo probabilístico del caudal mediante información histórica



Dato	Q
1	11.64
2	9.63
30	5.28
40	3.21
50	4.25
⋮	⋮
120	8.45





Capacidad de la planta



Contenido

Introducción

Tamaño óptimo

Selección de configuración

Caso de Estudio

Resultados y Conclusiones

Con los modelos probabilísticos obtenidos se procede a realizar una simulación de Monte Carlo secuencial para determinar la capacidad de generación anual de la planta.



Capacidad de la planta

Contenido

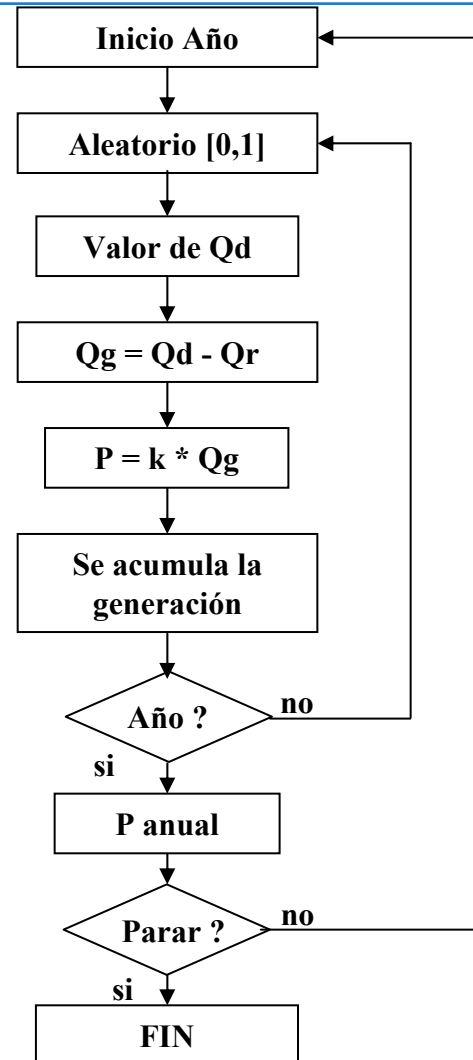
Introducción

Tamaño óptimo

Selección de configuración

Caso de Estudio

Resultados y Conclusiones



$$P = k \cdot q$$

$$k = g \cdot \rho \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot h_l \cdot 10^{-6}$$

Donde :

P : Potencia generada (MW)

g : Aceleración de la gravedad $\left(\frac{m}{s^2} \right)$

ρ : Peso específico del agua $\left(\frac{kg}{m^3} \right)$

η_t : Eficiencia de la turbina (%)

η_g : Eficiencia del generador (%)

Finalmente, se repite este ciclo hasta que la simulación se estabilice o cumpla un número dado de iteraciones



Capacidad de la planta

Contenido

Introducción

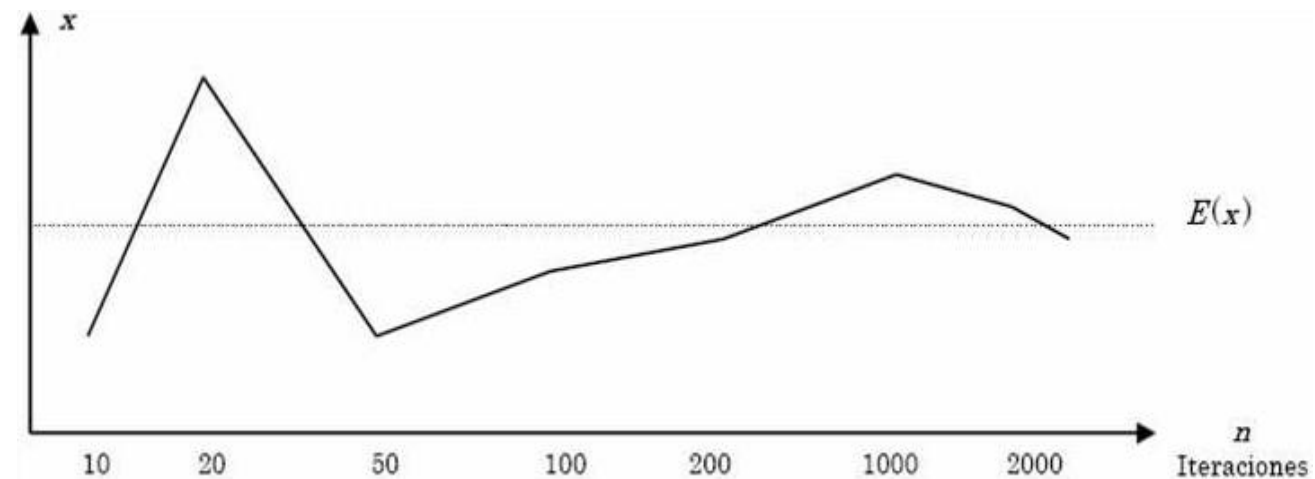
Tamaño óptimo

Selección de configuración

Caso de Estudio

Resultados y Conclusiones

Estabilidad mediante valor esperado



Estabilidad de una simulación para un valor esperado

Convergencia mediante coeficiente de variación

$$CV_x = \frac{S_x}{\bar{X}\sqrt{n}}$$



Capacidad de la planta

Contenido

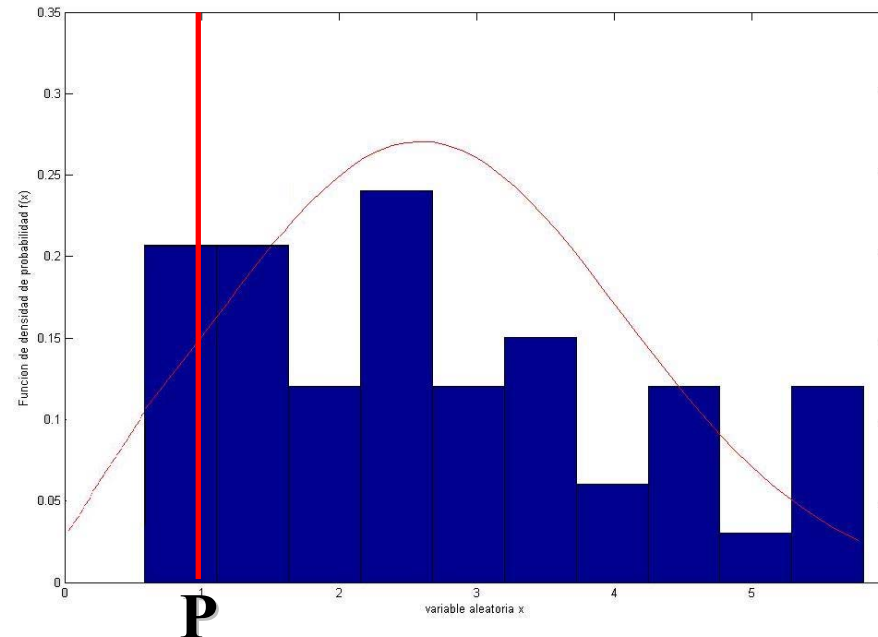
Introducción

Tamaño óptimo

Selección de configuración

Caso de Estudio

Resultados y Conclusiones



Capacidad de generación



Contenido

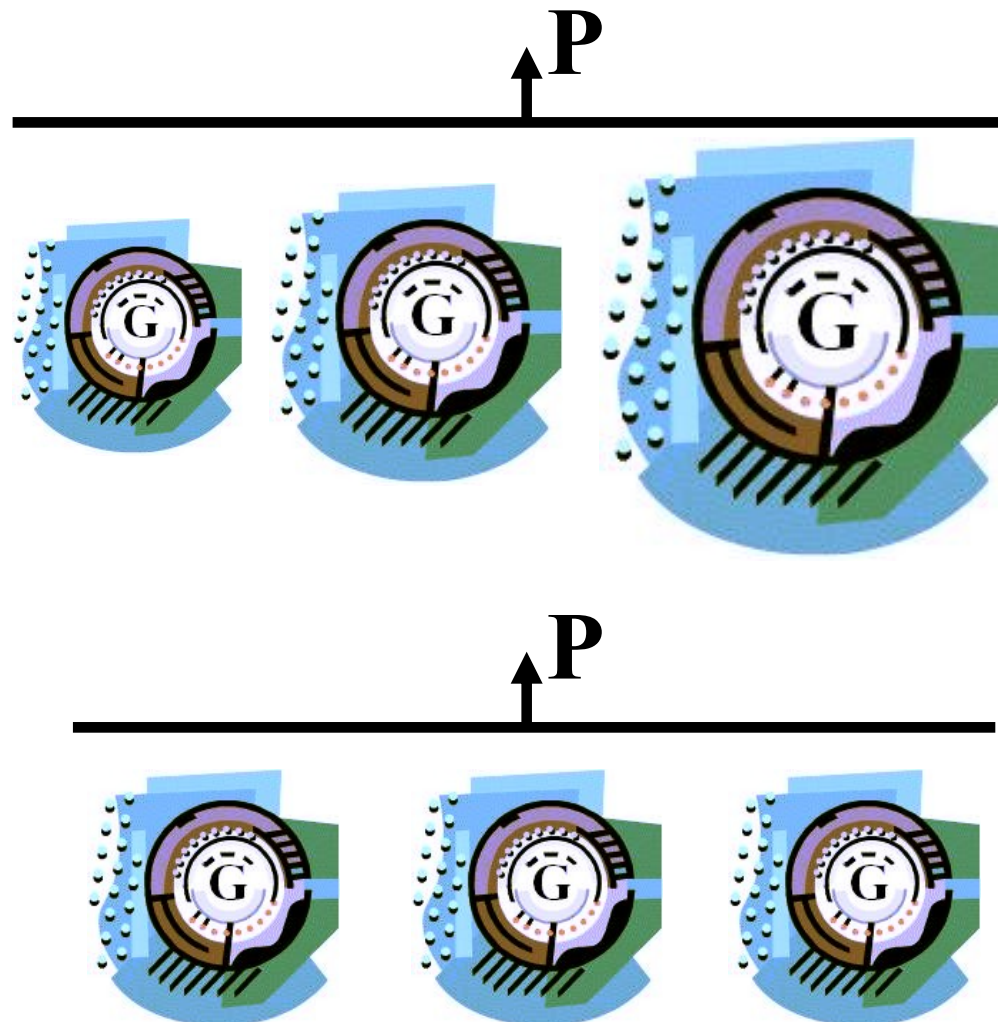
Introducción

Tamaño
óptimo

Selección de
configuración

Caso de
Estudio

Resultados y
Conclusiones





Selección de la mejor configuración



Contenido

Introducción

Tamaño
óptimo

Selección de
configuración

Caso de
Estudio

Resultados y
Conclusiones

Metodología:

Simulación de Monte Carlo

- Análisis de confiabilidad
- Disponibilidad del recurso
- Despacho óptimo



Contenido

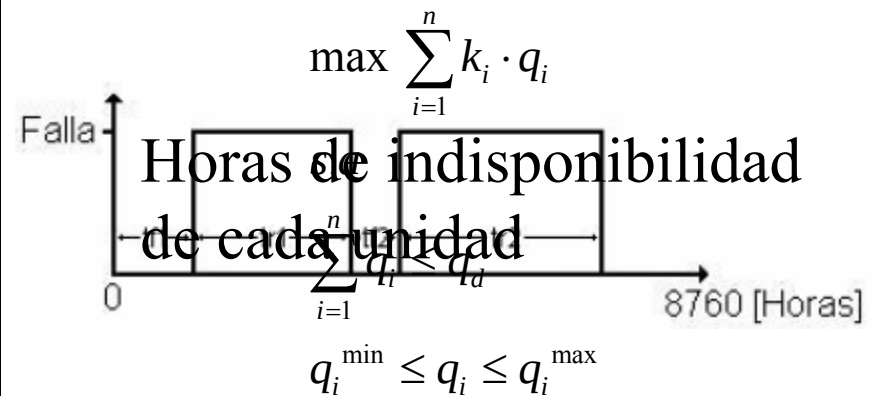
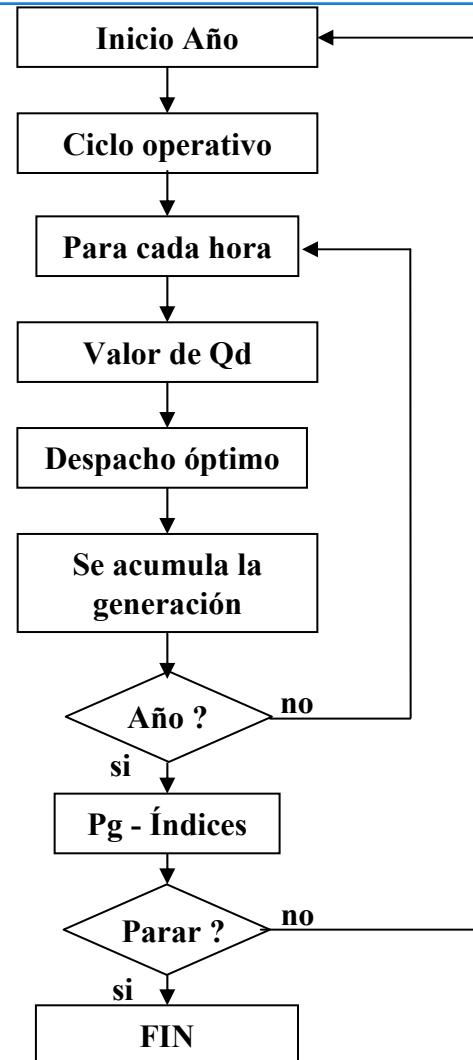
Introducción

Tamaño
óptimo

Selección de
configuración

Caso de
Estudio

Resultados y
Conclusiones



Contenido

Introducción

Tamaño óptimo

Selección de configuración

Caso de Estudio

Resultados y Conclusiones

La metodología se aplica al planeamiento de una pequeña central hidroeléctrica que aprovecha el recurso hidrológico del Río Otún (Pereira).

Debido a la ubicación geográfica del proyecto se cuenta con una caída efectiva de 200m.

Para la eficiencia total (η) definida como el producto entre la eficiencia de la turbina (η_t) y la eficiencia del generador (η_g), se asume un valor entre $0.67 \leq \eta \leq 0.94$



Contenido

Introducción

Tamaño
óptimo

Selección de
configuración

Caso de
Estudio

Resultados y
Conclusiones

Modelo del Recurso Hidrológico

Mes	Media (μ) m ³ /s	Desviación estándar (σ) m ³ /s
Enero	11.0221	5.3597
Febrero	10.1514	5.8372
Marzo	10.0891	4.5183
Abril	14.3831	5.9485
Mayo	14.8451	4.9710
Junio	9.6728	3.6171
Julio	7.1860	2.9488
Agosto	6.5931	3.3309
Septiembre	8.0231	4.1142
Octubre	14.2888	4.5184
Noviembre	17.9538	6.7525
Diciembre	14.6636	7.0075



Contenido

Introducción

Tamaño
óptimo

Selección de
configuración

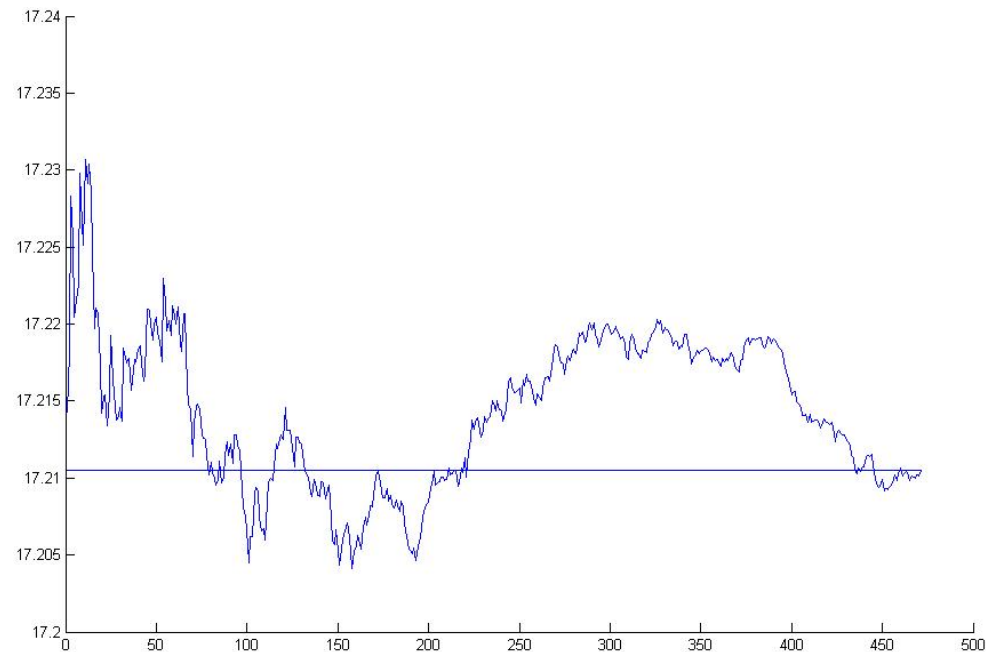
Caso de
Estudio

Resultados y
Conclusiones



Tamaño óptimo de la planta

Después de realizar un número de **500** iteraciones



Estabilidad de la simulación

Resultados

Contenido

Introducción

Tamaño óptimo

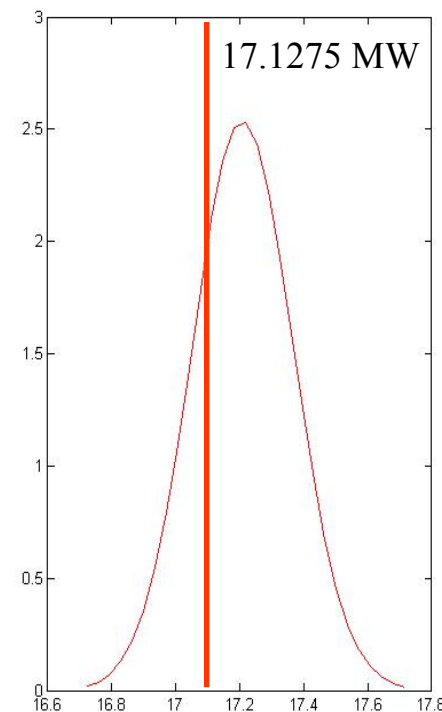
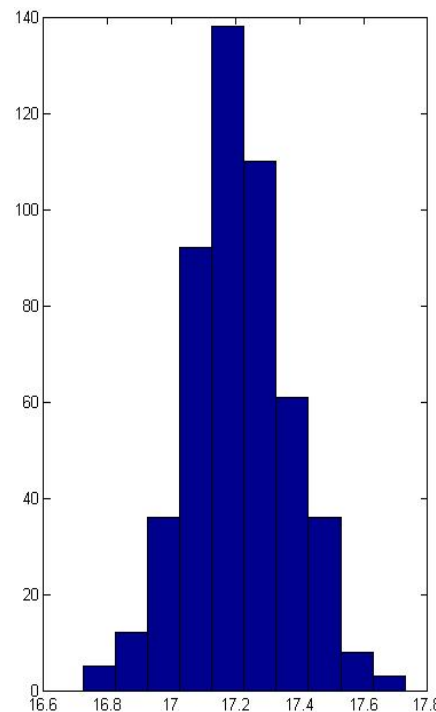
Selección de configuración

Caso de Estudio

Resultados y Conclusiones

Tamaño óptimo de la planta

La generación anual se ajusta a una distribución Lognormal. A partir de este modelo se evalúa el valor de generación que se espera tener en el 80% del tiempo.



Contenido

Introducción

Tamaño óptimo

Selección de configuración

Caso de Estudio

Resultados y Conclusiones

Alternativas de configuración

	5 MW	10 MW	15 MW	20 MW	TOTAL INSTALADO (MW)
CONFIGURACIÓN 1	2	1			20
CONFIGURACIÓN 2	1		1		20
CONFIGURACIÓN 3		2			20
CONFIGURACIÓN 4				1	20



Contenido

Introducción

Tamaño
óptimo

Selección de
configuración

Caso de
Estudio

Resultados y
Conclusiones

Los modelos de disponibilidad e indisponibilidad para las unidades de generación seleccionadas:

Capacidad	Tiempo Medio para Salida (horas)	Tiempo Medio para Restauración (horas)
5 MW	4380	45
10 MW	4137	48
15 MW	3893	52
20 MW	3650	55



Contenido

Introducción

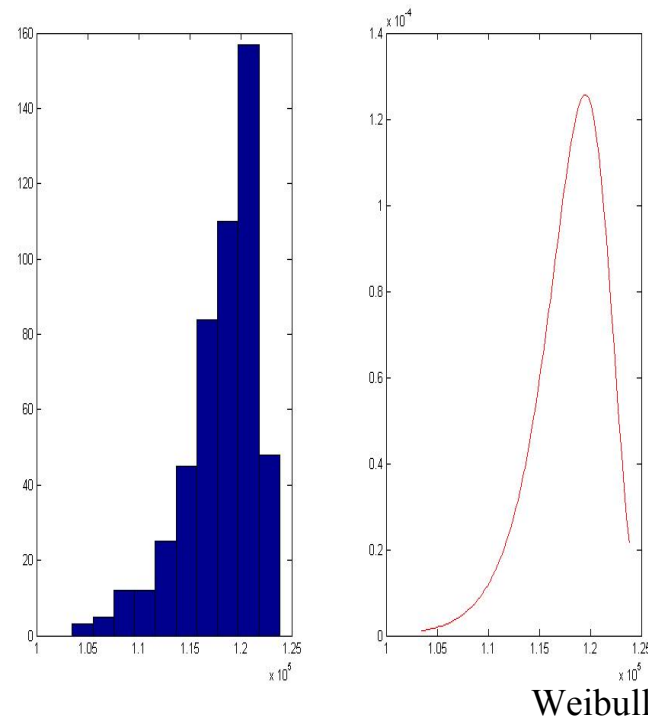
Tamaño
óptimo

Selección de
configuración

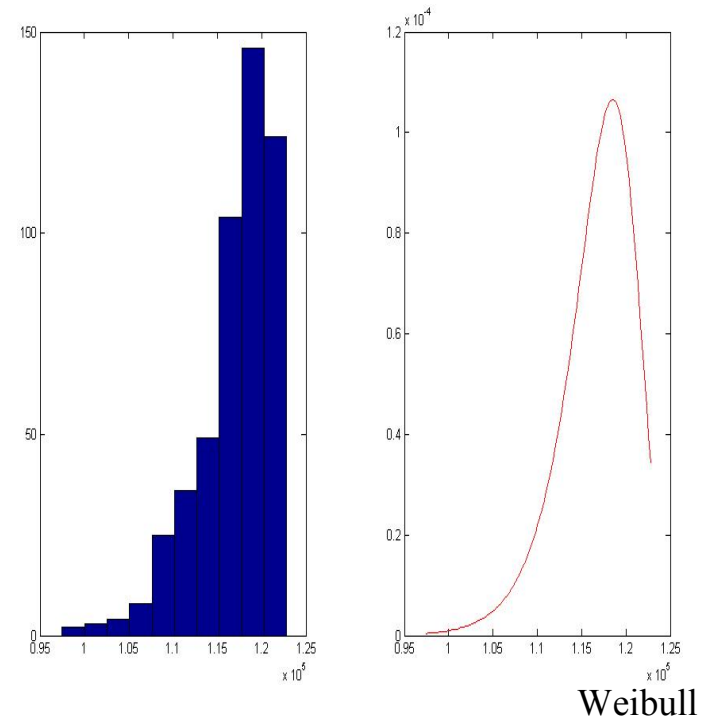
Caso de
Estudio

Resultados y
Conclusiones

Configuración 1



Configuración 3



Potencia generada



Contenido

Introducción

Tamaño óptimo

Selección de configuración

Caso de Estudio

Resultados y Conclusiones

CONFIGURACIÓN	E GENERADA ANUAL (MWh)	FACTOR PLANTA
1 (5 10 5)	115263	0.6609
2 (5 15)	112593	0.6533
3 (10 10)	113547	0.6535
4 (20)	106726	0.6281

Mejor configuración:

Dos plantas de 5 MW y una de 10 MW

La presencia de generadores pequeños hace que la disponibilidad de generación sea mayor.



Contenido

Introducción

Tamaño
óptimo

Selección de
configuración

Caso de
Estudio

**Resultados y
Conclusiones**

Disponibilidad de las unidades generadoras (horas)

Configuración 1	
5 MW	358,71
10 MW	348,168
5 MW	384,108

Configuración 2	
5 MW	341,094
15 MW	341,64

Configuración 3	
10 MW	336,222
10 MW	365,382

Configuración 4	
20 MW	378,911



Contenido

Introducción

Tamaño
óptimo

Selección de
configuración

Caso de
Estudio

Resultados y
Conclusiones

El planeamiento de pequeñas centrales hidráulicas tiene como variable principal de decisión la disponibilidad del recurso hidrológico.

La simulación de Monte Carlo es una herramienta de análisis adecuada para la solución de problemas con presencia de variables aleatorias.



Contenido

Introducción

Tamaño óptimo

Selección de configuración

Caso de Estudio

Resultados y Conclusiones

Con el comportamiento del recurso hidráulico se obtuvo un estimativo del tamaño de una pequeña central de tal forma que se aproveche al máximo la disponibilidad de este recurso.

El método permite que la mejor configuración satisfaga criterios de confiabilidad, y que presente un alto desempeño bajo diferentes escenarios de operación.



Contenido

Introducción

Tamaño óptimo

Selección de configuración

Caso de Estudio

Resultados y Conclusiones

La técnica de optimización mediante puntos interiores, además de ser eficiente computacionalmente, es adecuada para este tipo de problemas donde se pueden presentar soluciones óptimas alternativas.



Contenido

Introducción

**Tamaño
óptimo**

**Selección de
configuración**

**Caso de
Estudio**

**Resultados y
Conclusiones**

