

Optimización de dimensionamiento de un sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia para plantas industriales.

Ing. Industrial Puleo Zubillaga, Ricardo.

Facultad Regional Trenque Lauquen, Universidad Tecnológica Nacional.
Colon 56, ricardopuleo@msn.com

Resumen.

La falta de agua en las napas en algunas zonas de nuestra región, asociado a que la misma no es apta para su consumo debido a su gran cantidad de sales y que algunas empresas deprimen las napas con extracciones muy importantes, hacen necesario volver a la recolección de agua de lluvia. Las plantas industriales, al poseer techos de grandes superficies, tienen la oportunidad de implementar sistemas de recolección y almacenamiento que les permita cubrir sus necesidades de agua de forma sustentable.

Este trabajo busca encontrar la combinación óptima de la superficie del sistema de captación y el volumen del tanque de almacenamiento de manera que no exista déficit de agua para consumo en un periodo de 10 años.

La metodología será partir de los datos mensuales históricos de lluvia para una determinada región, en este caso la ciudad de Trenque Lauquen. A los mismos se les realiza un análisis estadístico con el fin de obtener la media y la desviación estándar de cada mes. Terminado el análisis, será diseñada una metodología mediante la cual, simulando las precipitaciones de lluvia mensuales, serán probadas distintas combinaciones de superficie de captación y volumen de almacenamiento, utilizando el software Microsoft Office Excel y Oracle Crystal Ball. Dicha metodología nos permitirá determinar si una determinada combinación de superficie de captación y volumen de almacenamiento cumple con los requerimientos según la demanda de agua y de no ser así, mediante un conjunto de reglas preestablecidas, determinar cuál es la combinación óptima de acuerdo a la infraestructura ya existente en una planta industrial.

Palabras claves: Simulación Montecarlo; agua de lluvia; plantas industriales.

1. Introducción.

En las empresas radicadas en la Zona Industrial Planificada de Trenque Lauquen se les presenta el problema de la alta salinidad del agua que extraen de las napas subterráneas por lo que deben instalar sistemas de osmosis inversa para lograr un agua apta para consumo. Pero al tener edificios de grandes superficies se pensó en la utilización de los mismos como un sistema de captación de agua de lluvia que, sumado a un tanque de almacenamiento, permite que cuenten con agua sin una alta concentración de sales para consumo e higiene según sus necesidades.

La captación de agua de lluvia es una técnica que data de miles de años y ha permitido que se disponga de agua en zonas sin fuentes naturales de agua (ríos, lagunas, etc.) o en donde las mismas no están en condiciones de ser usadas para consumo.

El objetivo de este trabajo es desarrollar una heurística que permita la optimización del dimensionamiento del sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia mediante el uso de estadísticas y simulaciones Montecarlo.

2. Desarrollo.

Para comenzar se deben obtener los datos históricos de lluvias mensuales del lugar donde se aplica el método. Se recomienda que sean más de 30 muestras para cada mes (registros de lluvias mensuales de 30 años o más) para poder aplicar el Teorema Central de Límite y concluir en que nuestros registros de lluvias se asemejan a una distribución normal.

Obtenidos los registros mensuales, se debe obtener para cada mes la media aritmética y la desviación estándar utilizando las ecuaciones (1) y (2) respectivamente:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (1)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{(n - 1)}} \quad (2)$$

Obtenidas las medias aritméticas y las desviaciones estándar procedemos al diseño de la planilla de simulación, la misma contendrá los siguientes ítems.

- Año: indica el año del periodo de simulación.
- Mes: indica el mes del año del periodo de simulación.
- Lluvia: De acuerdo a la media aritmética y a la desviación estándar de cada mes, el software Crystal Ball simulará las lluvias para cada mes siguiendo una distribución normal.
- Ajuste de negativo (lluvia): esta celda corregirá los valores para que solo se tomen los valores positivos y a los valores negativos los considere como cero.
- Agua captada: es el agua que se captó de la lluvia. La misma es igual al producto de la superficie de captación por la lluvia caída por un coeficiente de captación en el cual se tienen en cuenta las pérdidas por viento, evaporación, etc.
- Agua acumulada: es la suma entre el agua captada y el agua remanente del mes anterior, la misma está limitada por la capacidad del tanque.
- Consumo: es el consumo que se espera tener ese mes. El mismo es el resultado del producto de la demanda de agua diaria por la cantidad de días del mes.
- Remanente: es el agua que sobra ese mes. Es el resultado del agua acumulada menos el consumo.
- Ajuste de negativo (tanque): esta celda corregirá los valores para que solo se tomen los valores positivos y a los valores negativos los considere como cero.
- Valor medio remanente: es el valor medio del agua que sobra para ese mes de acuerdo a la simulación efectuada. La misma es calculada por el software Crystal Ball

El siguiente es el encabezado de la tabla de simulación (tabla 1).

Tabla 1. Encabezado de tabla de simulación.

Cantidad de litros/día	1200
-------------------------------	------

Consumo

Mes de 28 días	33600
Mes de 30 días	36000
Mes de 31 días	37200

Coefficiente de captación	0,8
Superficie de captación (m2)	0
Volumen de almacenamiento (litros)	0

Año	Mes	Lluvia	Ajuste negativos (lluvia)	Agua Captada (litros)	Agua acumulada	Consumo	Remanente	Ajuste negativos (tanque)	Valor medio remanente
1	Enero	0	0	0		37200	-37200	0	0
	Febrero	0	0	0	0	33600	-33600	0	0
	Marzo	0	0	0	0	37200	-37200	0	0
	Abril	0	0	0	0	36000	-36000	0	0
	Mayo	0	0	0	0	37200	-37200	0	0
	Junio	0	0	0	0	36000	-36000	0	0
	Julio	0	0	0	0	37200	-37200	0	0
	Agosto	0	0	0	0	37200	-37200	0	0
	Septiembre	0	0	0	0	36000	-36000	0	0
	Octubre	0	0	0	0	37200	-37200	0	0
	Noviembre	0	0	0	0	36000	-36000	0	0
	Diciembre	0	0	0	0	37200	-37200	0	0

Diseñada la planilla de simulación, introducimos los valores de las variables y los parámetros, o sea, la cantidad de litros diarios necesarios, el coeficiente de captación, la superficie de captación disponible, el volumen de tanque de almacenamiento tentativo y los datos de media y desviación estándar para cada mes en el software Crystall Ball.

La metodología de simulación será partir con la superficie de captación con la que se cuenta (superficie de techo de la planta industrial) y utilizar un volumen de almacenamiento de 5000 litros, se corre una simulación y si algún valor de los valores medios remanentes es negativo significa que ese mes tendremos faltantes de agua con lo que esa combinación no sirve, si dicha combinación no sirve se aumenta el tamaño del tanque en 5000 litros y se corre una nueva simulación para saber si la misma no tiene déficit de agua y así sucesivamente hasta encontrar una combinación óptima.

Puede suceder que por más que aumentemos el volumen de almacenamiento no aparezca una combinación óptima, esto se debe a que la superficie de captación es insuficiente para los requerimientos de agua de toda la planta. En ese caso se puede analizar que el agua de lluvia provea solo un área de la planta o se utilice para un determinado proceso.

En la figura (1) podemos observar el diagrama de flujo del proceso de simulación.

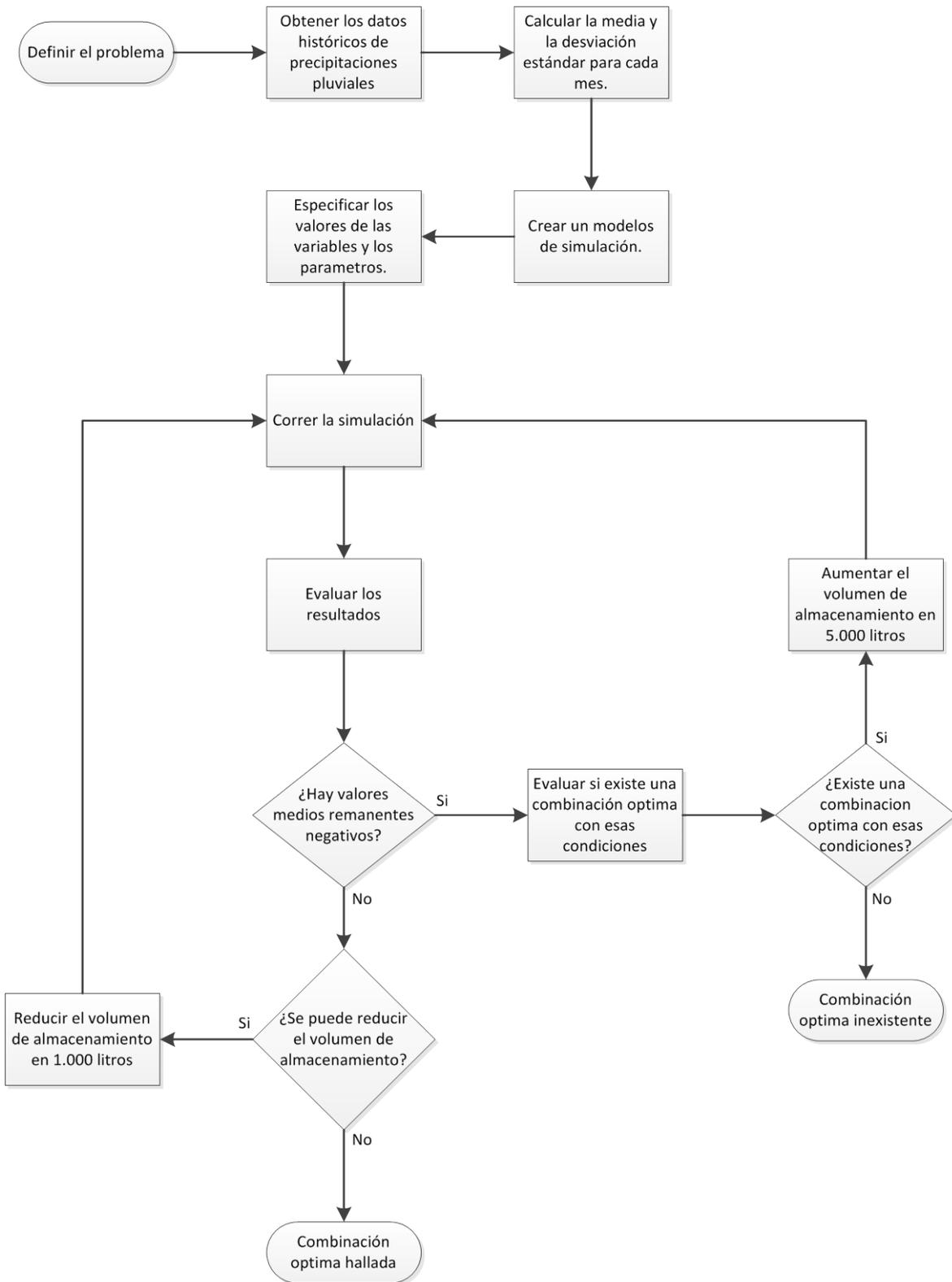


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de simulación.

Para realizar una prueba del modelo de simulación, lo aplicaremos en el edificio de la UTN FRTL. Dicha prueba servirá para comprobar si el edificio puede ser sustentable utilizando solo agua de lluvia.

2.1 Prueba.

2.1.1 Definir el problema.

El problema es definir cuál es el volumen de tanque óptimo para que el edificio de la UTN Facultad Regional Trenque Lauquen en su sede Racedo pueda abastecerse solamente con agua de lluvia durante un periodo de 10 años. Dicho edificio tiene un consumo máximo registrado de 1.200 litros/día según datos de los recibos municipales de agua emitidos por la Municipalidad de Trenque Lauquen.

Actualmente el edificio de la facultad no cuenta con un sistema de recolección de agua de lluvia.

2.1.2 Obtener los datos históricos de precipitaciones pluviales.

Los datos históricos fueron provistos por la oficina local del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Son datos mensuales desde 1940 hasta 2010.

2.1.3 Calcular la media y la desviación estándar para cada mes.

Los resultados de los cálculos de media y desviación estándar se pueden observar en la siguiente tabla (tabla 2).

Tabla 2. Resultados de cálculo de Media y Desviación Estándar.

Mes	Media	Desviación estándar.
Enero	107,77	62,20
Febrero	88,76	62,09
Marzo	135,89	83,24
Abril	77,82	59,79
Mayo	37,80	35,89
Junio	27,76	29,94
Julio	23,92	24,69
Agosto	27,52	28,27
Septiembre	56,07	44,12
Octubre	99,17	61,12
Noviembre	89,35	64,00
Diciembre	104,45	64,35

2.1.4 Crear un modelo de simulación.

El modelo es creado según se explicó anteriormente.

2.1.5 Especificar los valores de las variables y los parámetros.

Se introducen los valores de consumo de agua diaria, para el coeficiente de captación se elige 0,8 (que significa que se captará un 80% de la lluvia caída), según las mediciones realizadas, tenemos un área de captación de 640 metros cuadrados.

Se cargan los valores de media y desviación estándar utilizando el software Crystal Ball utilizando los supuestos de distribución normal como se observa en la figura (figura 2) que están cargados los datos correspondientes al mes de enero.

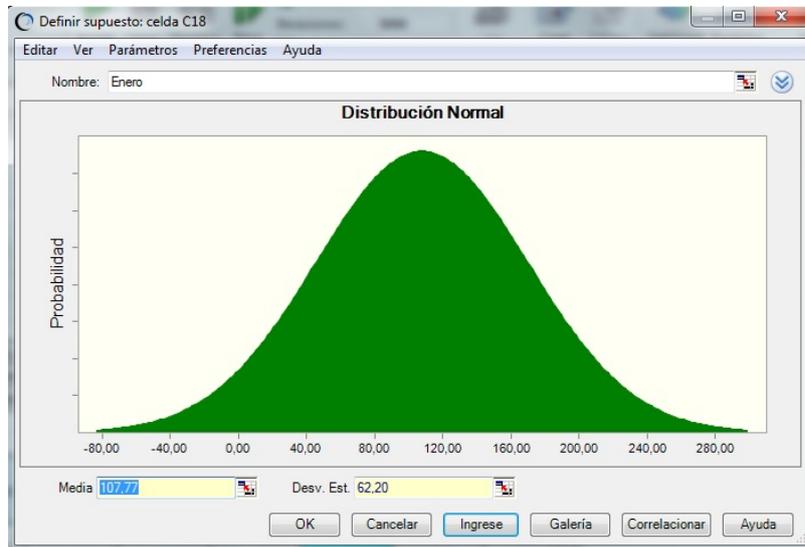


Figura 2. Entrada de datos al software Crystal Ball.

Se elige un volumen de tanque inicial de 40.000.

2.1.6 Correr la simulación y analizar los resultados.

Se corre la simulación y se analizan los resultados.

Para simplificar la lectura de este trabajo, los resultados de las simulaciones se mostraran en una tabla (tabla 3) que resume los resultados de las mismas.

Tabla 3. Resultados de las simulaciones.

Superficie de captación (m ²)	Volumen de almacenamiento (m ³)	¿La combinación es óptima?
640	40.000	NO
640	45.000	NO
640	50.000	NO
640	55.000	NO
640	60.000	NO
640	65.000	NO
640	70.000	NO
640	80.000	NO
640	85.000	NO
640	90.000	NO
640	95.000	NO
640	100.000	NO
640	105.000	NO
640	110.000	SI
640	109.000	NO

2.1.7 Resultado.

Como se puede observar, con la superficie actual de los techos de 640 metros cuadrados, se necesita un volumen de almacenamiento de 110.000 litros para que con esa superficie de captación la Facultad Regional Trenque Lauquen de la UTN pueda ser autosuficiente utilizando solamente agua de lluvia.

3. Conclusiones.

Se comprobó que la heurística desarrollada permite conocer las dimensiones óptimas que requerirá un sistema de captación de agua de lluvia con anterioridad a su diseño. La misma permite probar las posibilidades de abastecer toda la planta o una determinada área solamente, de esa forma se tendrá acceso a un agua con baja concentración de sales para ser utilizada en procesos, higiene o según se requiera.

4. Referencias.

- [1]. Dr Anaya Garduño, Manuel; MC. Martínez, Jose Juan. Manual sobre Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia para Uso Doméstico y Consumo Humano. Editorial Naciones Unidas.
- [2]. Marqués, Felicidad (2010). Microsoft Excel 2010 en Profundidad. España. Primera Edición. Editorial Alfaomega. Impreso en México.
- [3]. Ing. Puleo Zubillaga, Ricardo (2013). "Desarrollo de un Sistema de Captación, Almacenaje y Tratamiento de Agua de Lluvia". 4° Encuentro de Becarios Formatec UTN 2012. Buenos Aires. Argentina.
- [4]. Winston, Wayne L. (2005). Investigación de Operaciones, Aplicaciones y Algoritmos. México. 4° edición. Editorial Cengage Learning. México.
- [5]. Taha, Hamdy A. (2004). Investigación de Operaciones. México. 7° edición. Editorial Pearson Educación. México.
- [6]. Canavos, George C. (1988). Probabilidad y Estadística, Aplicaciones y Métodos. México. 1° edición. España.

Agradecimientos.

El autor de este trabajo quiere agradecer a todo el Grupo de Estudio sobre Técnicas de Análisis de Decisión en Ingeniería Industrial (GESTADII) por su compañerismo y acompañamiento en cada proyecto que emprendemos. Al director de proyectos Mag. Ing. Daniel Xodo por su confianza y sus consejos. A las autoridades de la UTN Facultad Regional Trenque Lauquen y a mi familia por su incondicional apoyo.