



Título del Trabajo Fin de Máster:

***MODELO ESTOCÁSTICO DEL
CONSUMO DE AGUA CALIENTE Y FRÍA
DE UN HOTEL***

Intensificación:

HIDRÁULICA URBANA

Autor:

CHICO FERNANDEZ, JESÚS

Director/es:

DR. ARREGUI DE LA CRUZ, FRANCISCO

DR. COBACHO JORDÁN, RICARDO

Fecha: **SEPTIEMBRE, 2012**



Título del Trabajo Fin de Máster:
MODELO ESTOCÁSTICO DEL CONSUMO DE AGUA CALIENTE Y FRÍA DE UN HOTEL

Autor: **CHICO FERNÁNDEZ, JESÚS**

Tipo	A <input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/>	Lugar de Realización	VALENCIA
Director	DR.ARREGUI DE LA CRUZ,	Fecha de Lectura	SEPTIEMBRE, 2012
Codirector1	FRANCISCO		
Codirector2	DR. COBACHO JORDÁN,		
Tutor	RICARDO		

Resumen:

Reconociendo el interés en el desarrollo de estudios que analicen los sistemas de distribución de agua en actividad turística, se plantean como objetivo la mejorar de la eficiencia y la reducción del gasto de recursos naturales y energéticos. Para llevar estos a cabo, es necesario crear modelos muy detallados que nos permitan simular en escenarios ficticios el comportamiento de los sistemas hidráulicos reales. Respondiendo a esta problemática desarrollamos un modelo estocástico para el análisis de los consumos de agua caliente y fría en un hotel, presentamos entonces en este trabajo la producción del modelo que genera series de consumos de agua ficticios en una habitación de un hotel.

Para la creación del modelo determinamos las características del sistema, en este caso el objeto de estudios son los consumo de aparatos sanitarios de la habitación de un hotel. Observamos que las variables implicadas en los patrones de consumo son: la temperatura del agua, el volumen de agua utilizado, la qué hora y duración del evento de consumo, con qué frecuencia a lo largo un día se utilizan y por último los usos finales que corresponden a los aparatos sanitarios que clasificamos como el grifo de agua fría, el grifo de agua caliente, la ducha de agua fría, la ducha de agua caliente y la cisterna.

Teniendo clara las variables del modelo, empezamos a tratar los datos de campo para preparar la información que necesita el modelo, con un pre-proceso transformamos el registro de medidas hechas en campo en pulsos que tienen como características el volumen, el caudal y la duración, esta transformación de datos en "bruto" a pulsos la realizamos con la aplicación A-ITA. El resultado del pre-proceso es las series de características de cada pulso, en concreto: el uso final, el volumen, duración y caudal. El siguiente paso fue extraer los parámetros estadísticos que caracterizan la conjunto de datos originales, para genera una serie de patrones que se asemeja lo suficiente a los datos reales. Ya que los datos originales corresponden a los consumos en una habitación de hotel, el resultado del modelo corresponde también a los consumos de solo una habitación de hotel. Filtramos los datos clasificados para separar características específicas del conjunto de datos reales donde el resultado es una matriz que almacenan distintos rasgos del los pulsos reales.

Los pulsos tienen una naturaleza estocástica ya que la utilización de los aparatos sanitarios depende del usuario. La herramienta estadística que utilizamos para trabajar con este tipo de conjuntos de variables son las funciones de distribución de probabilidad (FDP), estas pueden reproducir un conjunto de números con una distribución similar un conjunto de variables preestablecidas, esto responde al objetivo principal del modelo estocástico que desarrollamos. Las FDP generan entonces los distintos patrones de variables que nos permiten crear pulsos ficticios con el cumulo de pulsos reales que obtuvimos con el filtro, para lograr esto es necesario ajustar las FDP a la series de datos originales y es esto justo el proceso principal del modelo estocástico. La siguiente etapa del modelo es asociar los distintos patrones generados con las FDP para crear pulso ficticios con las mismas características que los pulsos reales, a este proceso lo denominamos ensamblaje. Los patrones de cada variable de los usos finales están en forma de vectores con los que formamos la matriz que contiene la información de los pulsos ficticios. El último paso del modelo estocástico es la corrección del conjunto ficticio de pulsos

En la validación del modelo explicamos los resultados comparando la serie de datos reales con la ficticia con distintos criterios, principalmente contrastamos los volúmenes, caudales y distribuciones temporal de los eventos, utilizamos los valores promedios por intervalos de tiempo a lo largo del día como método de comparación.

Comentamos que todos los procesos utilizados para el manejo de datos y la creación de patrones ficticios de consumo del modelo estocástico, fueron desarrollados en el código de programación de Visual Basic Applications de Microsoft para Excel 2007©, se emplearon distintas secuencias de subrutinas para ejecutar cada proceso del modelo estocástico y el código completo utilizado se muestra el Anexo.

Abstract:

Acknowledging the interest in the development of analytical studies that focus in water distribution in touristic infrastructures, we establish as an objective the improvement of efficiencies and the reduction of natural and energetic resources spends. To forfeit such demands, is necessary the development of very detailed models that simulate real hydraulic systems in virtual scenarios. In order to solve this problem we develop a stochastic water demand model that will be useful to study the cold and warm water consumption in a hotel, we present then in this work the development of the model that generates the artificial series of water consumption in a hotel room.

First, to create a model we need the characteristic of the system; in this case the subject of study the sanitary equipment of a bathroom in a hotel room. We recognize as the pattern consumption variables: the water temperature, volume used, the hour and duration of the consumption event, use frequency during 24 hours and at last the end uses, which are: warm water faucet, cold water faucet, warm water shower, cold water shower and water closed.

Having in mind the variables of the model, we start to manipulate de field data to prepare the necessary input information for the model, with a preprocess we shape the field data measurements into pulses witch wave as characteristics the volume, flow rate and duration; this has been done with the A-ITA application. The result of this preprocess is the rectangular pulses' characteristic series, specifically: the end use, volume, duration and flow rate. The following step in the process is to generate a series of artificial patterns resalable enough the original data with the extractions of the

original data statistical parameters. The input consumption data corresponds to a one hotel's bathroom, therefore the result of the model will also be the water consumption of one hotel's bathroom. Then we create a matrix which contains distinctive patterns of the original data series with an arranged data filter.

The pulses have a stochastic nature; due to the utilization of bathroom ware that depends on users needs. Then we found the probability density function (pdf) as a statistical tool to handle this kind of variables, the pdf can reproduce a series of numbers with a similar distribution observed in a set of existing variables, this responds to the objective of the stochastic model. So, the pdf can produce a series of variables which will be used to create the artificial pulses with sets of original information, in order to accomplish this task we must fit the pdf to divers kind variables of the original consumption patterns. Once we created the artificial variables we need to ensemble the different patterns to create the simulated pulses, this is done arranging different vectors in a matrix. As the last step in the model, some corrections to set of artificial pulses are done.

We prove the accuracies of the model comparing the artificial pulses with the real ones. Mainly we compare the volume, the rate flow, and the frequencies of events using the mean values in regular temporal intervals during one day.

Resum:

Reconeixem l'interès en el desenvolupament d'estudis que analitzin els sistemes de distribució d'aigua en activitat turística, es plantegen llavors com objectiu la millorar de l'eficiència i la reducció de la despesa de recursos naturals i energètics. Per a dur aquests a cap, és necessari crear models molt detallats que ens permetin simular en escenaris ficticis el comportament dels sistemes hidràulics reals. Responent a aquesta problemàtica desenvolupem un model estocàstic per a l'anàlisi dels consums d'aigua calenta i freda en un hotel, vam presentar llavors en aquest treball la producció del model que genera sèries de consums d'aigua ficticis en una habitació d'un hotel.

Per a la creació del model determinem les característiques del sistema, en aquest cas l'objecte d'estudis són els consum d'aparells sanitaris de l'habitació d'un hotel. Observem que les variables implicades en els patrons de consum són: la temperatura de l'aigua, el volum d'aigua utilitzat, la quina hora i durada de l'esdeveniment de consum amb quina freqüència al llarg un dia s'utilitzen i finalment els usos finals que corresponen als aparells sanitaris que classifiquem com l'aixeta d'aigua freda, l'aixeta d'aigua calenta, la dutxa d'aigua freda, la dutxa d'aigua calenta i la cisterna.

Tenint clara les variables del model, vam començar a tractar les dades de camp per a preparar la informació que necessita el model, amb un pre-procés transformem el registre de mesures fetes en camp en polsos que tenen com característiques el volum, el cabal i la durada, aquesta transformació de dades "brutes" a polsos la realitzem amb l'aplicació A-ITA. El resultat del pre-procés és les sèries de característiques de cada pols, en concret: l'ús final, el volum, durada i cabal. El següent pas va ser extreure els paràmetres estadístics que caracteritzen la conjunt de dades originals, per a genera una sèrie de patrons que s'assembla prou a les dades reals. Ja que les dades originals corresponen als consums en una habitació d'hotel, el resultat del model correspon també als cosim de solament una habitació d'hotel. Filtrem les dades classificades per a separar característiques específiques del conjunt de dades reals on el resultat és una matriu que emmagatzemen diferents trets de l'els polsos reals.

Els polsos tenen una naturalesa estocàstica ja que la utilització dels aparells sanitaris depèn de l'usuari. L'eina estadística que utilitzem per a treballar amb aquest tipus de conjunts de variables són les funcions de distribució de probabilitat (FDP), aquestes poden reproduir un conjunt de nombres amb una distribució similar un conjunt de variables preestablertes, això respon a l'objectiu principal del model estocàstic que desenvolupem. Les FDP generen llavors els diferents patrons de variables que ens permeten crear polsos ficticis amb el cumulo de polsos reals que vam obtenir amb el filtre, per a assolir això és necessari ajustar les FDP a la sèries de dades originals i és això just el procés principal del model estocàstic. La següent etapa del model és associar els diferents patrons generats amb les FDP per a crear pols ficticis amb les mateixes característiques que els polsos reals, a aquest procés ho denominem acoblament. Els patrons de cada variable dels usos finals estan en forma de vectors amb els quals formem la matriu que conté la informació dels polsos ficticis. L'últim pas del model estocàstic és la correcció del conjunt fictici de polsos

En la validació del model expliquem els resultats comparant la sèrie de dades reals amb la fictícia amb diferents criteris, principalment contrastem els volums, cabals i distribucions temporal dels esdeveniments, vam utilitzar els valors termes mitjans per intervals de temps al llarg del dia com mètode de comparança.

Comentem que tots els processos utilitzats per al maneig de dades i la creació de patrons ficticis de consum del model estocàstic, van ser desenvolupats en el codi de programació de Visual Basic Aplicacions de Microsoft para Excel 2007©, es van emprar diferents seqüències de subrutinas per a executar

Palabras clave:

Modelo estocástico, análisis de series temporales, consumo de agua en hoteles, funciones de distribución de probabilidad, programación de métodos numéricos

Keywords:

Stochastic model, time series analysis, hotel water consumption, probability distribution, numerical analysis programming

Paraules Clau:

Model estocàstic, anàlisi de sèries temporals, consum d'aigua en hotels, funcions de distribució de probabilitat, programació de mètodes numèrics

Índice General

Índice General.....	2
Índice de imágenes	3
Índice de tablas.....	6
Índice de Ecuaciones	7
Índice de Código	7
1 Introducción.....	8
2 Objetivos.....	11
3 Antecedentes y Marco de Referencia.....	12
4 Modelo Estocástico	17
4.1 Resumen de la metodología del modelo estocástico.	17
4.2 Preparación de la información de entrada del modelo.....	19
4.2.1 Descripción de información inicial	19
4.2.2 Antecedentes de la definición de pulsos.....	19
4.2.3 Identificación de pulsos	20
4.2.4 Características de Pulsos.....	24
4.3 Filtro de datos	28
4.4 Funciones de distribución de Probabilidad	32
4.4.1 Utilización de las funciones de distribución de probabilidad	33
4.4.2 Ajuste de las funciones de distribución de probabilidad con R	34
4.4.3 Las funciones de distribución de probabilidad empleadas en el modelo estocástico...39	
4.5 Producción de los conjuntos de datos ficticios.....	53
4.5.1 Comprobación del Ajuste de la FDP Gamma a los patrones de Volumen.....	54
4.5.2 Comprobación del Ajuste de la FDP Gamma al número de eventos por día	60
4.5.3 Comprobación del Ajuste de relación lineal entre el volumen y la duración de los pulsos corregida con la función de distribución de probabilidad Normal	66
4.5.4 Comprobación la obtención de la hora con distribución de probabilidad acumulada por intervalos	69
4.6 Ensamblaje de los conjuntos de datos ficticios	72
4.6.1 Ensamblaje de la variable tiempo con el patrón de número de eventos por día y el patrón de hora de ocurrencia de los eventos.....	73

4.6.2 Ensamblaje de la matriz única	75
4.6.3 Creación de micropulsos ficticios con la matriz única.....	76
4.6.4 Comparación de los pulsos reales con los pulsos ficticios.	80
5 Análisis de Resultados.....	82
5.1 Comparación de la probabilidad de ocurrencia de eventos a lo largo del día.....	83
5.2 Comparación con los volúmenes promedio por intervalos en un día	84
5.3 Comparación con los caudales promedio por intervalos en un día	86
5.4 Distribución de los consumos ficticios por aparato sanitario en una habitación de hotel. ..	87
5.5 Comparación de dos simulaciones de consumos con el modelo estocástico	88
5.6 Distribución de los consumos ficticios de agua caliente en la habitación de un hotel en el trascuro de un día.	89
6 Conclusiones.....	90
7 Desarrollos futuros.....	92
8 Bibliografía	93

Índice de imágenes

Imagen 1 [4.2-1] Registro de datos iniciales en A-ITA.....	19
Imagen 2 [4.2-2] Neyman-Scott de pulsos rectangulares de Poisson (NSRPM)	20
Imagen 3 [4.2-3] Formulario A-ITA.....	21
Imagen 4 [4.2-4] Uso consecutivo de 2 cisternas en un pulso	22
Imagen 5 [4.2-5] Características de los Pulsos.....	24
Imagen 6 [4.2-6] Ejemplo de formas distintas de pulsos de cisternas	25
Imagen 7 [4.2-7] Caudal constante de ducha	25
Imagen 8 [4.2-8] Ducha de varios Pulsos.....	26
Imagen 9 [4.2-8] Pulso de una Fuga	26
Imagen 10 [4.2-10] Resultado Final del Clasificación de Pulsos	27
Imagen 11 [4.2-11] Distribución del consumo de agua caliente y fría de un hotel	27
Imagen 12 [4.3-1] Distribución de la suma de todos los volúmenes reales filtrados por pulsos aislados	30
Imagen 13 [4.3-2] Distribución de la suma de la cantidades totales de eventos reales por uso final	30
Imagen 14 [4.3-3] Registro de volúmenes reales referenciados en el tiempo antes del filtro.....	31
Imagen 15 [4.3-4] Serie de volúmenes reales de los usos finales referenciados en el tiempo, resultado del filtro para pulsos únicos.....	31

Imagen 16 [4.4-2] Grafica de datos ordenados de menor a mayor de la serie original y las FDP Gamma ajustadas con los métodos de la máxima similitud, aproximación y las ecuaciones de los momentos	38
Imagen 17 [4.4-3] Histograma del conteo de eventos por día de utilización de grifos de agua caliente, ejemplo de distribución Gamma o Weibull.....	40
Imagen 18 [4.4-4] Histograma volumen de los pulsos aislados de agua fría consumidos en duchas, ejemplo distribución exponencial.....	40
Imagen 19 [4.4-5] Histograma de volumen de los pulsos únicos del consumo en cisternas, ejemplo de distribución normal	41
Imagen 20 [4.4-6] Perfil de las funciones de distribución de probabilidad Gamma con distintos factores de escala y forma	42
Imagen 21[4.4-10] Histograma de las discrepancias entre la regresión lineal y la relación real entre volúmenes y duraciones de los pulso asilados de agua fría de duchas.....	46
Imagen 22 [4.4-12] Ejemplo de la corrección con la FDP Normal de la duración ficticia obtenida con la regresión lineal de la relación entre el volumen y la duración.....	47
Imagen 23 [4.4-14] Histograma generado con R de la hora de utilización real de los grifos de agua fría.....	50
Imagen 24 [4.5.1] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos por grifos de agua fría con el histograma de probabilidades.....	55
Imagen 25 [4.5.2] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos por grifos de agua fría	55
Imagen 26 [4.5.3] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos por grifos de agua caliente con el histograma de probabilidades.....	56
Imagen 27 [4.5.4] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos por grifos de agua caliente.....	56
Imagen 28 [4.5.5] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos por duchas de agua fría con el histograma de probabilidades.....	57
Imagen 29 [4.5.6] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos por duchas de agua fría	57
Imagen 30 [4.5.7] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos por duchas de agua caliente con el histograma de probabilidades.....	58
Imagen 31 [4.5.8] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos duchas de agua caliente.....	58
Imagen 32 [4.5.9] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos por cisternas con el histograma de probabilidades	59
Imagen 33 [4.5.10] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos por cisternas.....	59

Imagen 34 [4.5.11] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma al conteo del numero de eventos por día de grifos de agua fría con el histograma de probabilidades.....	61
Imagen 35 [4.5.12] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie del numero de eventos por día de grifos de agua fría	61
Imagen 36 [4.5.13] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma al conteo del numero de eventos por día de grifos de agua caliente con el histograma de probabilidades	62
Imagen 37 [4.5.14] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie del numero de eventos por día de grifos de agua caliente.....	62
Imagen 38 [4.5.15] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma al conteo del numero de eventos por día de duchas de agua fría con el histograma de probabilidades	63
Imagen 39 [4.5.16] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie del numero de eventos por día de duchas de agua fría	63
Imagen 40 [4.5.17] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma al conteo del numero de eventos por día de duchas de agua caliente con el histograma de probabilidades	64
Imagen 41 [4.5.18] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie del numero de eventos por día de duchas de agua caliente	64
Imagen 42 [4.5.19] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma al conteo del numero de eventos por día de cisternas con el histograma de probabilidades	65
Imagen 43 [4.5.20] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie del numero de eventos por día de cisternas	65
Imagen 44 [4.5.21] Comprobación cuantil-cuantil del ajuste de relación lineal entre el volumen y la duración de los pulsos corregida con la FDP Normal para los grifos de agua fría	66
Imagen 45 [4.5.22] Comprobación cuantil-cuantil del ajuste de relación lineal entre el volumen y la duración de los pulsos corregida con la FDP Normal para los grifos de agua caliente	67
Imagen 46 [4.5.23] Comprobación cuantil-cuantil del ajuste de relación lineal entre el volumen y la duración de los pulsos corregida con la FDP Normal para las duchas de agua fría.....	67
Imagen 47 [4.5.24] Comprobación cuantil-cuantil del ajuste de relación lineal entre el volumen y la duración de los pulsos corregida con la FDP Normal para las duchas de agua caliente	68
Imagen 48 [4.5.25] Comprobación cuantil-cuantil del ajuste de relación lineal entre el volumen y la duración de los pulsos corregida con la FDP Normal para las cisternas	68
Imagen 49 [4.5.26] Comprobación cuantil-cuantil de la obtención de la hora con distribución de probabilidad acumulada por intervalos para grifos de agua fría.....	69
Imagen 50 [4.5.27] Comprobación cuantil-cuantil de la obtención de la hora con distribución de probabilidad acumulada por intervalos para grifos de agua caliente	70
Imagen 51 [4.5.28] Comprobación cuantil-cuantil de la obtención de la hora con distribución de probabilidad acumulada por intervalos para duchas de agua fría	70
Imagen 52 [4.5.29] Comprobación cuantil-cuantil de la obtención de la hora con distribución de probabilidad acumulada por intervalos para duchas de agua caliente	71
Imagen 53 [4.5.30] Comprobación cuantil-cuantil de la obtención de la hora con distribución de probabilidad acumulada por intervalos para cisternas	71
Imagen 54 [4.6-1] Ejemplo de la creación del vector tiempo con el número de eventos por día y la hora de ocurrencia de los eventos	74

Imagen 55 [4.6-2] Resultado del ensamblado de los vectores volumen, duración y tiempo en la matriz única, volúmenes ficticios de agua fría y caliente referenciados en el tiempo en un periodo de 50 días	75
Imagen 56 [4.6-3] Volúmenes de los pulsos referenciados en el tiempo.....	79
Imagen 57 [4.6-4] Micropulsos referenciados en el tiempo	79
Imagen 58 [4.6-5] Comparación con nubes de puntos de pulsos reales y ficticios	80
Imagen 59 [4.6-6] Esquemización de las nubes de puntos de pulsos reales y ficticios con triángulos	81
Imagen 60 [4.6-7] Resultado de la corrección a través de los valores umbral de caudal	82
Imagen 61 [5.1-1] Probabilidades de ocurrencia en intervalos de 18 minutos de los pulsos reales y ficticios por día	83
Imagen 62 [5.2-1] Suma por intervalos de 18 minutos de los pulsos reales y ficticios por día	84
Imagen 63 [5.3-1] Suma de caudales por intervalos de 18 minutos de los pulsos reales y ficticios por día.....	86
Imagen 64 [5.4-1] Distribución por apartamento sanitario de los volúmenes ficticios de agua consumidos en la habitación de un hotel.....	87
Imagen 65 [5.5-1] Superposición de volúmenes referenciados en el tiempo generados en 2 simulaciones distintas series de números aleatorios	88
Imagen 66 [5.6-1] Distribución porcentual de los volúmenes ficticios de agua caliente de una habitación de un hotel a lo largo del día en intervalos de 2 horas	89

Índice de tablas

Tabla 1 [4.4-1] Comparación de los factores de escala y forma obtenidos con tres métodos.....	36
Tabla 2 [4.4-2] Comparación de los distintos métodos de ajuste con suma la suma de los errores absolutos	39
Tabla 3 [4.4-3] Ratio, factor de escala y factor de forma para los patrones de volúmenes de pulsos únicos consumidos para cada uso final	43
Tabla 4 [4.4-4] Ratio, factor de escala y forma de los patrones de conteo del número de eventos por día para cada uso final.....	43
Tabla 5 [4.4-7] Regresión lineal de la nube de puntos del volumen V.S. duración de los pulsos aislados de agua fría de duchas	44
Tabla 6 [4.4-5] Parámetros de la corrección con la FDP Normal de la línea de tendencia de la relación entre el Volumen y el Caudal de los usos finales	47
Tabla 7 [5.1-1] Criterios del caudal máximo y mínimo para la corrección del caudal.....	81

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 [4.4-1] Distribución Normal.....	32
Ecuación 2 [4.4-2] Distribución Gamma	32
Ecuación 3 [4.4-3] Distribución Weibull	32
Ecuación 4 [4.4-4] Ratio λ	34
Ecuación 5 [4.4-5] Factor de Forma α	35
Ecuación 6 [4.4-6] Factor de Escala β	35
Ecuación 7 [4.4-7] Pendiente de la línea de tendencia.....	44
Ecuación 8 [4.4-8] Ordenada al origen de la línea de tendencia	44
Ecuación 9 [4.4-9] Ecuación de la línea de tendencia	45
Ecuación 10 [4.4-11] Corrección la regresión lineal con la FDP Normal	46
Ecuación 11 [4.5-1] Ecuación de la FDP Gamma utilizada para la obtención de los volúmenes.....	54
Ecuación 12 [4.5-1] Programación en VBA para Excel© de la función de distribución de probabilidad Gamma para generar una dato con un una probabilidad	54
Ecuación 13 [4.5-1] Ecuación de la FDP Gamma utilizada para el número de eventos por día...60	
Ecuación 14 [4.6-1] Creación de matriz M_p de pulsos ficticios con los vectores de los patrones generados con las FDP y con los números identificadores de usos finales.....	72

Índice de Código

Código 1 [4.4-1] Programación en R para el ajuste de los factores de escala y forma.....	36
Código 2 [4.4-2] Programación en R para graficar las series FDP Gamma ajustadas	37
Código 3 [4.4-3] Programación en R para calcular la suma del error absoluto de las diferencias entre las series obtenidas con las FDP Gamma ajustadas y la serie de datos real.....	38
Código 4 [4.4-4] Programación en VBA para Excel©, para la obtención de la probabilidad acumulada de ocurrencia de los eventos a lo largo del día por intervalos	51
Código 5 [4.4-5] Programación en VBA para Excel© para la creación de una serie de números aleatorios que varían entre 0 y 1, e interpolación del numero aleatorios dentro de los intervalos de probabilidad acumulada de ocurrencia de los eventos en un día	52
Código 6 [4.5-1] Programación en VBA para Excel© de la función de distribución de probabilidad Gamma para generar una dato con una probabilidad	60
Código 7 [4.6-1] Ejemplo de la creación del vector tiempo con el número de eventos por día y la hora de ocurrencia de los eventos	74
Código 8 [4.6-2] Cantidad y el volumen de los micropulsos	76
Código 9 [4.6-3] Asignación de volumen y tiempo a cada micropulso.....	77
Código 10 [4.6-4] Suma de micropulsos con la misma variable tiempo	78

1 Introducción

El agua potable es indispensable para los desarrollos turísticos¹ y el sector turístico es muy importante para la economía Española. El turismo constituye más de un 10% del PIB, crea un 11% del empleo, aparte favorece el desarrollo y mantenimiento de otros sectores productivos por la demanda de insumos y energía². Desde el 2010, las aportaciones de la construcción a la economía española son superadas por la industria del turismo³. Aunado a esto, el turismo es un sector que mantiene un crecimiento constante en España a pesar de las circunstancias desfavorables en la economía nacional y global, en el 2011 la entrada de turistas internacionales alcanzó 56,7 millones de visitantes, con una subida interanual del 7,6%⁴.

Tomando en cuenta lo anterior, reconocemos el interés en el desarrollo de estudios que analicen los sistemas de distribución de agua en actividad turística, con el objetivo mejorar la eficiencia y reducir el gasto de recursos hídricos y energéticos. Esta clase de estudios solo se puede llevar a cabo con la utilización de modelos muy detallados que nos permitan simular con modelos virtuales el comportamiento de los sistemas hidráulicos reales.

Siendo consientes de esta problemática, el grupo de investigadores del Instituto de Tecnología del Agua de la Universidad Politécnica de Valencia, en particular el Dr. Ricardo Cobacho Jordán y el Dr. Francisco Arregui de la Cruz, han conformado la información y los conceptos iniciales para el desarrollo de un modelo estocástico para el análisis de los consumos de agua caliente y fría en un hotel, presentamos entonces en este trabajo la producción del modelo propuesto para la generación de los consumos ficticios en una habitación de un hotel.

¹ J. Fernando Vera Rebollo, Agua Modelo de Desarrollo Turístico: Las Necesidades de Nuevos Criterios para la Gestión de los Recursos, (julio 2006), Proyecto de investigación CTM2004_02405/MAR (Ministerio de Educación y Ciencia), Universidad de Alicante.

² José Manuel Soria López, Plan Nacional e Integral de Turismo 2012-2015, (2012), Ministerio De Industria, Energía y Turismo Instituto de Turismo de España, Instituto De Estudios Turísticos.

³ Sandalio Gómez, María Dolores García, Magdalena Opazo, Mercado del Trabajo Español Ante una Nueva Reforma Laboral, (junio 2009), IESE Business School Universidad de Navarra.

⁴ Resultados de la actividad turística en España 2011, (Abril de 2012), Ministerio De Industria, Energía y Turismo Instituto de Turismo de España, Instituto De Estudios Turísticos.

Antes de diseñar el modelo, hacía falta determinar las características del sistema, en el caso de una habitación de hotel observamos que las variables implicadas en los patrones de consumo son: la temperatura del agua, el volumen de agua utilizado, la que hora y duración del evento de consumo, con qué frecuencia a lo largo un día se tratan y por último los usos finales o microcomponentes que corresponden a los aparatos sanitarios que clasificamos como el grifo de agua fría, el grifo de agua caliente, la ducha de agua fría, la ducha de agua caliente y la cisterna. Teniendo clara las variables del modelo empezamos tratar los datos de campo para preparar la información que necesita el modelo.

El conjunto de registros requiere un pretratamiento para transformarlos en pulsos que tienen como características el volumen, el caudal y la duración, esta transformación de datos en “bruto” a pulsos la realizamos con la aplicación ITA sobre Microsoft Access 2007© que para efectos de este trabajo nombraremos A-ITA. El resultado de este pre-proceso es la información de cada pulso, como: el uso final, el volumen, duración y caudal. El siguiente paso fue extraer los parámetros estadísticos que caracterizan la población de datos original, para generar una serie de patrones que se asemeja lo suficiente a los datos originales. Puesto que los datos originales corresponden a los consumos en una habitación de hotel, el resultado del modelo corresponde también a los consumos de solo una habitación de hotel. Filtramos los datos clasificados para separar características específicas del conjunto de datos reales. El resultado del filtro son matrices que almacenan distintos rasgos del conjunto de pulsos reales.

Los pulsos tienen una naturaleza estocástica ya que el uso final, el volumen, la duración, la hora de utilización y la cantidad de veces que se utiliza un aparato en un día, son variables que dependen de la utilización que haga usuario de los aparatos sanitarios. La herramienta estadística que encontramos para trabajar con este tipo de conjuntos de variables son las funciones de distribución de probabilidad que nombraremos abreviadamente FDP, estas pueden reproducir un conjunto de números con una distribución similar a conjunto de variables preestablecidas, esto responde al objetivo principal del modelo que desarrollamos. Las FDP generan entonces los distintos patrones de variables que nos permiten crear pulsos ficticios con el cúmulo de pulsos reales que obtuvimos con el filtro, para lograr esto es necesario ajustar las FDP a la serie de datos originales y este es el proceso principal del modelo estocástico.

La siguiente etapa del modelo es asociar los distintos patrones generados con las FDP para crear pulso con las mismas características que los pulsos reales, a este proceso lo denominamos ensamblaje ya que haciendo una analogía, unimos distintas piezas para formar un objeto. Los patrones de cada variable están en forma de vectores, el ensamblaje consiste en asociar a cada valor de volumen una duración, un tiempo de ocurrencia y el uso final. Con los distintos vectores formamos una matriz que contiene la información de los pulsos, la matriz tiene una columna para cada patrón de variable y una fila para cada pulso. El último paso del modelo estocástico es la corrección del conjunto ficticio de pulsos para eliminar los pulsos con características anómalas. Esto se lleva a cabo considerando unos valores umbrales de caudal que sirven como criterio de eliminación.

Terminamos la explicación del desarrollo del modelo estocástico de consumo de agua en un hotel con la validación del modelo, donde explicamos los resultados del modelo comparando la serie real con la ficticia bajo distintos criterios, principalmente contrastamos los volúmenes, caudales y distribuciones temporal de los eventos.

Comentamos que todos los procesos utilizados para el manejo de datos y la creación de patrones ficticios de consumo del modelo estocástico, fueron desarrollados en el código de programación de Visual Basic Applications de Microsoft para Excel 2007© (VBA para Excel), se emplearon distintas secuencias de subrutinas para ejecutar cada parte del modelo y el código completo utilizado en el modelo estocástico se muestra el Anexo.

2 Objetivos

Objetivo

Distinguimos como objetivo principal la elaboración de un modelo estocástico que nos permita crear series ficticias de la demanda de agua a partir del registro de los consumos de agua medidos en campo. La producción y validación de este modelo estocástico nos permitirá establecer los parámetros estadísticos de las distintas características de los patrones de consumo de agua en una habitación de un hotel. El modelo estará adaptado para la manipulación del registro temporal de variables de los diferentes usos finales en una habitación de un hotel. Los conjuntos de datos generados por el modelo y las medidas reales tendrán las mismas variables referenciadas en el tiempo, de las cuáles distinguimos el volumen, la duración de los eventos, el caudal, el tipo de aparato sanitario que genere el consumo y la temperatura del agua.

Aportaciones

En el desarrollo de este modelo se generaran datos y metodologías que pueden resultar útiles para otros proyectos de investigación o que pueden servir como referencia para la elaboración de distintos proyectos. Mostramos a continuación un repertorios de las aportaciones esperadas con el modelo estocástico y en la producción del modelo estocástico:

- Modelo estocástico de consumo de agua caliente y fría en una habitación de un hotel.
- El método empleado en el modelo expresado en código de programación.
- Procedimientos para la generación de series ficticias de datos referenciados en el tiempo a partir de registros reales.
- Sugerencias de mejora del software de análisis hidráulico desarrollado por el ITA.
- Identificación y caracterización de los usos finales o microcomponentes, que se traduce en la descripción de las características de los patrones reales de consumo de agua de aparatos sanitarios en la habitación de un hotel.
- Parámetros estadísticos descriptivos de los consumos de agua en un hotel.
- Series ficticias de consumo de agua caliente y fría en un hotel.

A grandes rasgos, este modelo permitirá en el futuro abordar trabajos de evaluación de eficiencias hídricas y energéticas, así como el mejor del dimensionado de instalaciones.

3 Antecedentes y Marco de Referencia

Los modelos estocásticos tienen una amplia gama de aplicación, en general se puede realizar un estudio estocástico a cualquier conjunto de sucesos aleatorios referenciados en tiempo, el ejemplo lo encontramos con método Montecarlo⁵ que es uno de los modelos estadísticos más conocido y con una gran cantidad años de desarrollo. Hoy en día encontramos un conjunto importante de investigaciones que estudian los patrones de consumos de agua con modelos estocásticos ya que las variables a tratar son claramente aleatorias. Lo más común es encontrar análisis de series temporales que se enfocan en predicción meteorológicas⁶, sin embargo en los últimos años se han utilizado los mismos modelos para caracterizar la demanda de agua en zonas urbanas. Constatamos que la mayor parte de los estudios estocásticos aplicados a la hidráulica urbana se tratan las demandas de agua en hogares y no es común encontrar trabajos que aborden con detalle el gasto de agua en hoteles, siendo aun más inusual encontrar un estudio que manipule la temperatura del agua como una variable.

Una de las investigaciones más cercanas a este estudio desarrollado por Gascón⁷ analiza la demanda urbana de agua en ciudades españolas a través de la medición del patrón de consumo en usos finales. Este estudio analiza los usos finales del consumo de agua residencial como una herramienta esencial para una adecuada administración del agua. Se pueden obtener resultados a través de diversas metodologías, que pueden variar desde una encuesta hasta la medición directa del consumo de agua. Sin duda la medición directa es la técnica más adecuada ya que refleja el consumo real y no la opinión de los usuarios acerca del uso que hacen del agua. La mayoría de los estudios donde se ha medido el uso del agua han sido llevados a cabo en ciudades americanas. Los perfiles de consumo de agua de usuarios europeos no son los mismos que en Estados Unidos, debido a diferencias en los hábitos de los usuarios así como las características de los hogares y los aparatos sanitarios domésticos. Los aspectos analizados son, cómo se

⁵ Sixto Rios, Modelos y método Montecarlo en la investigación operativa industrial y militar, Trabajos de Estadística y de Investigación Operativa, Volume 8, Number 2 (1957), 79-90, DOI: 10.1007/BF03004006.

⁶ P.S.P. Cowpertwait, Mixed Rectangular Pulses Models of Rainfall, Res. Lett. Inf. Math. Sci., 2003, Vol.5, pp 61-70, Institute of Information & Mathematical Sciences Massey University at Albany, Auckland, New Zealand. p.s.cowpertwait@massey.ac.nz

⁷ Gascón, Laura¹; Arregui Francisco²; Cobacho Ricardo³; Cabrera Jr. Enrique⁴; Urban Water Demand In Spanish Cities By Measuring End Uses Consumption Patterns, Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia. Spain.

distribuye el consumo domestico, los patrones de consumo doméstico por horas, volumen de agua utilizado por cada aparato doméstico y flujos de las tasas de consumo de agua. Finalmente constatan que la distribución de los usos del agua es similar a la obtenida en estudios previos.

También existe un modelo creado por Alcocer⁸ de redes de distribución de agua potable usado para la demanda estocástica donde se demuestra la aplicación de conceptos estocásticos para modelar los patrones de demanda residencial. Al aplicar el modelo Neyman-Scott de pulsos rectangulares de Poisson (NSRPM)⁹ a un modelo de simulación hidráulica se obtuvieron mejores resultados en términos de la presión medida y el comportamiento del flujo que con el tradicional Hourly Demand Variation Curve (HDVC). Los resultados del trabajo sientan las bases para una nueva herramienta práctica y simple, útil a aquellos ingenieros e investigadores que están dedicados al diseño y mantenimiento de sistemas de redes de distribución hidráulica. Podría implementarse este modelo incorporando los métodos en programas del dominio público como EPANET. El enfoque HDVC es simple pero inexacto a nivel residencial. El modelo estocástico representa en forma real la demanda de agua pero predice en exceso las variaciones de flujo y presión, lo que debería ser explicado en un futuro trabajo. Una ventaja adicional del modelo estocástico es que permite hacer estimaciones de las fugas en la red. El HDVC incluye pérdidas físicas y cuando se compara con las mediciones directas podemos detectar fugas al observar que el HDVC y el flujo principal son inferiores a la curva que representa el nivel real de demanda de agua del consumidor. Con esta clase de aplicaciones de modelos estocásticos podemos observar que surgen nuevas líneas de desarrollo en el campo de la investigación, donde se abren vertientes que señalan la necesidad de desarrollar trabajos enfocados a la automatizar de procesos para la generación de series sintéticas de demanda. Ya que podemos apreciar cómo algunos modelos estadísticos como el por ejemplo el modelo Montecarlo son útiles para la simulación de consumos. Esto permite realizar simulaciones con series de datos que representen periodos extendidos en el tiempo en EPANET, de esta manera se podrían generar simulación del desempeño de redes hidráulicas bajo condiciones más realistas, elaborando así simulaciones estocásticas de redes de distribución de agua.

⁸ Alcocer Yamanaka, Víctor H.1; Tzatchkov Velitchko G.2; Arreguín Cortes Felipe I.3 Modeling Of Drinking Water Distribution Networks Using Stochastic Demand, 11 Abril 2012, Springer Science + Bussines Media, B.V. 2012.

⁹ P.S.P. Cowpewart, Mixed Rectangular Pulses Models of Rainfall, Res. Lett. Inf. Math. Sci., 2003, Vol.5, pp 61-70, Institute of Information & Mathematical Sciences Massey University at Albany, Auckland, New Zealand.
p.s.cowpewart@massey.ac.nz

Se ha estipulado en varios artículos que el consumo de agua potable a nivel doméstico tiene carácter estocástico, caracterizado por la intensidad, duración y frecuencia de los pulsos de demanda, estos parámetros se pueden obtener por medio de medición directa de la demanda instantánea, pero esta forma necesita mediciones con registros de cada segundo, por lo que genera una enorme cantidad de datos. Este artículo de Alcocer¹⁰ se presenta un nuevo método para estimar los parámetros para la generación de las series de consumo, con base en mediciones a intervalos mayores de un segundo. El método propuesto considera principios del proceso de NSRPM en la desagregación temporal del volumen acumulado. La estimación de los parámetros se fundamenta en los momentos estadísticos. Se plantea una función objetivo que expresa la relación entre ambos momentos, la cual se minimiza obteniéndose así los parámetros que caracterizan estadísticamente el consumo instantáneo. Una vez estimados tales parámetros, el modelo estocástico permite abordar el problema de generación de series sintéticas de consumo, empleando cualquier intervalo de agregación temporal. El método se validó por comparación entre series generadas con los parámetros resultantes y series medidas en campo. El método propuesto basado en el esquema NSRPM, tuvo resultados satisfactorios comparados con las mediciones realizadas en campo. Con este método propuesto es posible obtener los parámetros del consumo estocástico a partir de mediciones con intervalo de registro mayor a un segundo sin perder exactitud en el cálculo de las series de consumo. Las técnicas descritas han sido desarrolladas para redes con servicio continuo de distribución de agua.

Por otro lado se ha simulado la demanda de agua no residencial con un modelo estocástico de usos finales que utiliza el modelo SIMDEUM desarrollado por Blokker¹¹. Este modelo fue desarrollado para predecir la demanda de agua urbana y residencial; dicha aplicación se amplió para predecir la demanda no residencial. El modelo pudo aplicarse fácilmente por que los inputs del mismo consisten en la información acerca de aparatos domésticos que utilizan agua y los consumidores de agua. El modelo utiliza habitaciones funcionales que pueden aplicarse a diferentes tipos de edificios no residenciales, no solo la oficina, el hotel y el asilo de ancianos. El uso principal de agua en la oficina está determinado por la descarga de cisternas. El uso del agua en hoteles tanto en patrones de uso total como diurno, está principalmente determinado por el

¹⁰ Alcocer Yamanaka, Víctor H.1; Tzatchkov, Velitchko G.2; Estimación de Parámetros del Consumo Instantáneo de Agua Potable de Lecturas Acumuladas, Noviembre 2008, RIIT Vol. X Num. 3, 2009 237-246 ISSN 405-7743 FI- UNAM

¹¹ E.J.M.Blokker1; E.J. Pieterse-Quirijns2; J.H.G.Vreeburg3; J.C. van Dijk4, Simulating Nonresidential Water Demand with a Stochastic End- Use Model, November/ December 2011, Journal of Water Resources Planning and Management, American Society of Civil Engineers, DOI 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000146.

uso en las habitaciones. Por lo mismo es indispensable tener información fidedigna acerca del número y la ocupación de las habitaciones así como del consumo de los aparatos sanitarios que utilizan agua en cada habitación. Los primeros resultados demostraron que la simulación concuerda con los patrones de mediciones de demanda de agua. Parece que los supuestos de frecuencias de uso, duración, y flujo de los eventos que usan agua fueron estimados. Los resultados son prometedores ya que pueden ser utilizados para otro tipo de edificios no residenciales. En lo que respecta a la creación de series artificiales de consumos de agua, podemos decir que este trabajo desarrollado por Blokker es bastante similar al proyecto que explicamos en este proyecto, podemos apreciar que su tesis post-doctoral¹² tiene un gran periodo de desarrollo y una aplicación extensa de patrones estocásticos de consumo de agua en una gran diversidad de escenarios.

Encontramos el estudio de García¹³ que establece un modelo estocástico para evaluar la demanda de agua residencial, se formuló y aplicó para sintetizar la generación de demanda de agua residencial en dos ciudades, Valencia y Milford. El modelo está basado en la teoría de un proceso de pulsos rectangulares, siendo cada pulso un rectángulo de una duración e intensidad dada, ambas modeladas como variables estadísticas independientes. La ocurrencia de los pulsos durante a lo largo del se da en forma no homogénea y estadísticamente independiente de las variables anteriores. El modelo contiene los elementos básicos para ser utilizado como una herramienta práctica en la simulación de la demanda urbana, y es un primer paso en mejorar las metodologías para la evaluación estratégica de políticas y optimización de redes en áreas urbanas. El modelo en el cuál se basa la hipótesis y algunos aspectos pueden ser verificados en la práctica. Se menciona el efecto de la pérdida de carga en el caso de que varios pulsos se traslapen. El modelo presentado es relevante para simulaciones de redes hidráulicas donde las fluctuaciones horarias en los nodos son significativas. El modelo fue concebido inicialmente para simular la demanda de agua residencial urbana al interior de las viviendas, pero puede extenderse su aplicación para usos.

¹² E.J.M.Blokker¹; E.J. Pieterse-Quirijns²; J.H.G.Vreeburg³; J.C. van Dijk⁴, Simulating Nonresidential Water Demand with a Stochastic End-Use Model, November/ December 2011, Journal of Water Resources Planning and Management, American Society of Civil Engineers, DOI 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000146.

¹³ García, Vicente Juan¹; García Bartual, Rafael²; Cabrera, Enrique M.³ASCE³; Arregui Francisco⁴; García Serra Jorge⁵, Stochastic Model To Evaluate Residential Water Demands, September/ October 2004, Journal Of Water Resources Planning And Management, American Society of Civil Engineers, DOI 10.1061/(ASCE)0733-9496(2004)130:5(386)

El análisis de las unidades de consumo de agua asociadas a las actividades turísticas resulta imprescindible para valorar la eficiencia ambiental y socioeconómica del modelo de desarrollo territorial urbano- turístico valenciano. En estudio de Rico¹⁴ analiza el gasto de agua urbano-turístico en las distintas formas de implantación territorial de estas actividades, especialmente en las modalidades de alojamiento hotelero y residencial, comparando la eficiencia de la gestión del agua potable en modelos urbanos de baja densidad y de alta densidad. Para dicho fin se ha recurrido a un método empírico, mediante encuestas y trabajos de campo realizados en empresas de agua potable de los principales destinos turísticos de la Comunidad Valenciana. Con la colaboración de estas empresas, se han analizado los principales sistemas de abastecimiento para valorar las tendencias de consumo, la estacionalidad, el rendimiento técnico de las redes y el ciclo integral del agua. Asimismo se incluyen resultados sobre el consumo de agua realizado en hoteles, en sus diferentes categorías. También en las distintas categorías de viviendas ocupadas por turistas y residentes en periodos de vacaciones, o establecimientos vinculados a las actividades turísticas como restaurantes, camping, entre otros.

Desde el punto de vista energético encontramos desarrollos como el de Cabrera¹⁵, donde se audita el consumo de energía en una red hidráulica. El análisis permite contabilizar la energía consumida por el sistema con un balance de la energía, utilizando indicadores de comportamiento que evalúan el sistema desde el punto de vista energético, gracias a esto es posible identificar mejoras a la eficiencia de un sistema. La auditoría energética requiere un balance del agua previo y un modelo matemático de la red para conocer el flujo de energía a través de los límites del sistema. La auditoría es útil para identificar los usos finales de la energía consumida por el sistema y para evaluar el rendimiento energético. El enfoque de la auditoría energética puede desplegar una amplia gama de resultados correlacionados con información adicional, como el precio del agua y la energía, también se pueden hacer estimaciones del impacto de gases de efecto invernadero, aparte de estimar las fuentes de energía requeridas por el sistema. Gracias a este tipo de evaluaciones de comportamiento del sistema se pueden sugerir opciones para mejorar, implementando un análisis del costo beneficio.

¹⁴ Rico Amorós, Antonio M1, Tipologías de Consumo de Agua en Abastecimientos Urbano-Turísticos de la Comunidad Valenciana, 11 de enero del 2007, Investigaciones Geográficas, Instituto Universitario de Geografía Universidad de Alicante, número 42 (2007) ISSN: 0213/4691

¹⁵ Cabrera, Enrique, M. ASCE1; Pardo, Miguel A.2; Cobacho, Ricardo3; Cabrera Jr. Enrique4, Energy Audit of Water Networks, Febrero 2010, Journal Of Water Resources Planning and Management, American Association of Civil Engineers, ASCE, ISSN 0733-9496/2010/6-669-677.

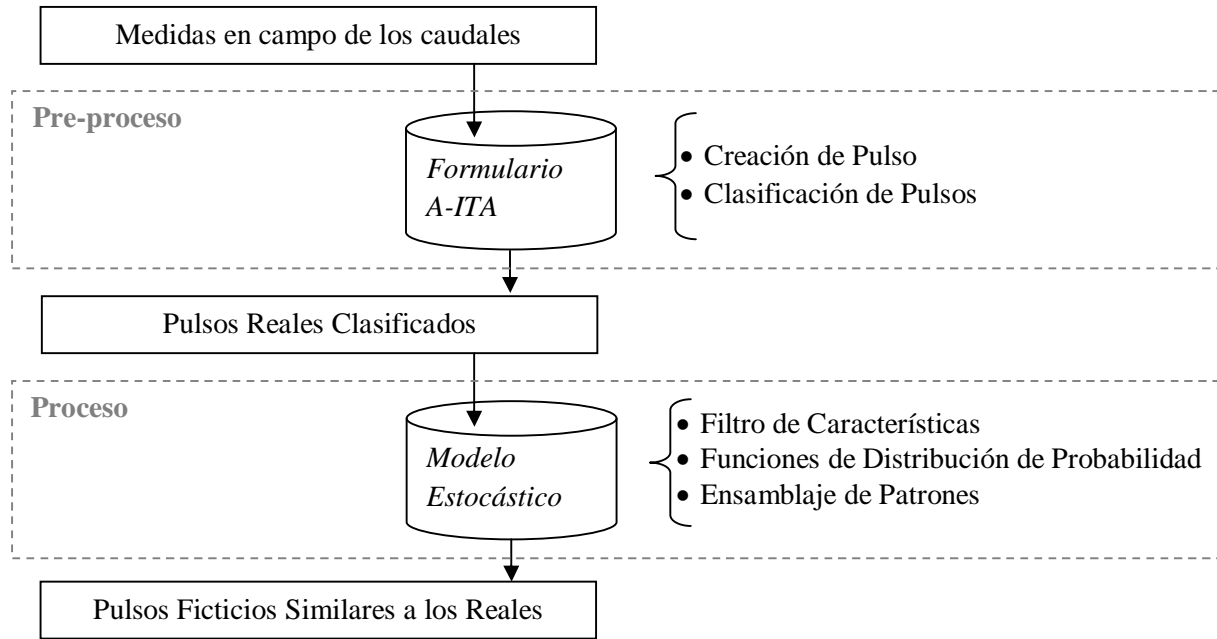
4 Modelo Estocástico

4.1 Resumen de la metodología del modelo estocástico.

Para describir de manera resumida el modelo estocástico, utilizaremos el concepto de proceso. En un proceso hay insumos que sufren algún tipo de transformación, hasta la constitución de un producto final. En el caso de este modelo estocástico los insumos son los registros de caudales del hotel, el producto final es una serie de caudales referenciados en el tiempo que se asemeja a los consumos reales. A la información de partida que son las medidas en campo de los caudales en las habitaciones de un hotel. Hace falta proporcionarle un pretratamiento a estos registros para transformarlos en pulsos, donde diferenciamos los datos de campo cómo medias instantáneas de caudal realizadas cada segundo y los pulsos cómo eventos referenciados en el tiempo que tienen cómo características el volumen, el caudal y la duración, esta transformación de datos en “bruto” a pulsos se lleva a cabo con la aplicación del ITA sobre Access que presentamos como A-ITA.

Los pulsos reales clasificados son la información de entrada del modelo estocástico, tratamos al conjunto de datos cómo una población en términos estadísticos donde cada pulso está definido por el volumen, la duración, la hora, el día y el aparato que lo generó. **El objetivo del modelo es reproducir una población ficticia de pulsos similar a población de pulsos reales.** El primer paso del proceso consiste en el filtrado de las distintas características de la población de pulsos. El siguiente paso es generar el conjunto de las características de la población ficticia que se asemejan a la población real, esto lo logramos ajustando las funciones de distribución de probabilidad a cada conjunto de características de la población real. Por último se ensamblan todas las características de la población ficticia para generar el producto final que es un conjunto de consumos ficticios que se asemejan a los consumos reales.

El proceso del modelo estocástico se explicará con mayor detalle en los apartados siguientes, donde se describe paso a paso las etapas del proceso y la comprobación. En la página siguiente presentamos la imagen 4.1 donde veremos un esquema simplificado de los procesos realizados por este modelo estocástico.



Esquema 1 [4.1] Esquema simplificado del proceso del modelo estocástico

4.2 Preparación de la información de entrada del modelo

4.2.1 Descripción de información inicial

La información inicial para realizar el estudio es una serie de medidas reales del consumo de agua fría y agua caliente en 8 habitaciones de un hotel, el registro de caudales corresponde a los meses de mayo, julio, septiembre y noviembre del 2009, el intervalo de tiempo entre cada medida es de un segundo y el periodo del registro varia de 3 a 6 semanas aproximadamente. Todos estos datos están en una base de datos conformada por once ficheros de Microsoft Access 2007©. Cada fichero corresponde a los registros del caudal de una habitación en un lapso de tiempo. En la base de datos se muestra para cada registro el identificador de la fecha de inicio de la medición con el número del datalogger, la fecha de la medición para cada consumo en formato de texto y la fecha, el volumen total, el caudal total, el volumen agua caliente y el caudal agua caliente.

nsC	fecl	SegD	Vlm	Cdl	VolumenF	CaudalF
20091106_01PA220289	11/6/2009	71548.25	0	0	0	0
20091106_01PA220289	11/6/2009	71548.26	0	0.072289152	0	0.072289152
20091106_01PA220289	11/6/2009	71553.23	0.0001	0.072289152	0.0001	0.072289152
20091106_01PA220289	11/6/2009	71553.24	0.0001	0.121621608	0.0001	0.121621608
20091106_01PA220289	11/6/2009	71554.25	0.0001	0.121621608	0.0001	0.121621608

Imagen 1[4.2-1] Registro de datos iniciales en A-ITA

4.2.2 Antecedentes de la definición de pulsos.

Clasificamos los pulsos con la aplicación A-ITA. Esta aplicación nos permite conforma los pulsos y permite su catalogación en una base de datos. La catalogación de los pulsos requiere a un usuario entrenado que reconozca el origen de cada señal, en la practica la metodología para la clasificación de los pulsos es sencilla, solo hay que tomar en cuenta algunos criterios empíricos y ser rigurosos con los detalles. En algunos casos el nivel de detalle de la identificación podría parecer excesivo, pero esto es necesario para la generación de los datos que emplearemos en el estudio estocástico de los consumos. La metodología se describe a continuación.

Para efectos de este estudio, definimos un pulso como serie continua de caudales medidos con valor superior a un caudal umbral. La duración del pulso está acotada por el primer caudal medido superior al umbral y el final del pulso es el último valor antes del valor inferior al valor umbral. Consideramos el valor umbral de 0.02 litros. La amplitud del pulso es la media aritmética de todos los caudales medidos entre el inicio y el final del pulso. Se utilizó el modelo Neyman-Scott de pulsos rectangulares de Poisson (NSRPM)¹⁶ para la conformar los pulsos, gracias a este modelo podemos reducir el número de datos a tratar, simplificando la forma de los pulsos. Observamos en la figura imagen 4.2-2 un esquema que representa cómo están compuestos los pulsos, es necesario tener en mente este esquema para poder clasificar y separar los pulsos.

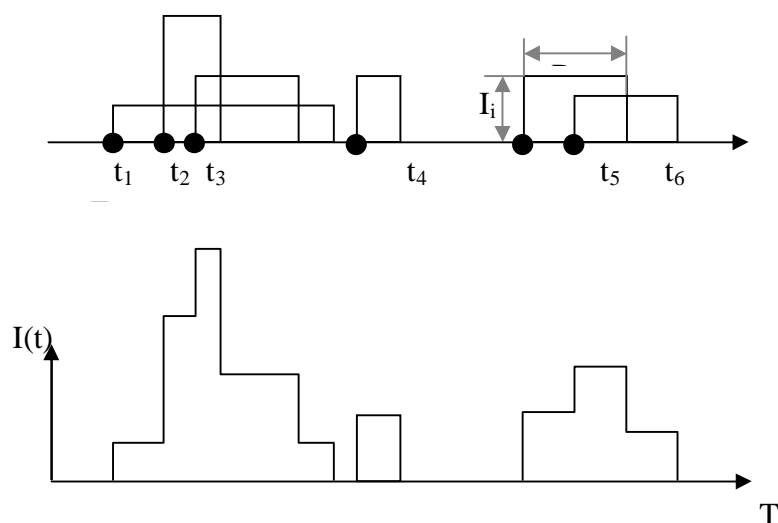


Imagen 2 [4.2-2] Neyman-Scott de pulsos rectangulares de Poisson (NSRPM)

4.2.3 Identificación de pulsos

Teniendo claro que el registro del consumo de agua está formado por pulsos y que cada pulso contiene una serie de microcomponentes, identificamos y clasificamos los pulsos con el *A-ITA* que utiliza como información de entrada el registro en intervalos de un segundo de los caudales de agua totales y de agua caliente en distintas habitaciones de un hotel. El programa calcula el inicio, final y amplitud del pulso con los criterios definidos anteriormente. Los pulsos

¹⁶ P.S.P. Cowpertwait, Mixed Rectangular Pulses Models of Rainfall, Res. Lett. Inf. Math. Sci., 2003, Vol.5, pp 61-70, Institute of Information & Mathematical Sciences Massey University at Albany, Auckland, New Zealand. p.s.cowpertwait@massey.ac.nz

corresponden al consumo total de agua y se asigna un número identificador para cada pulso, esto último es indispensable para corregir errores de identificación que se pueden observar al trabajar con la información de salida. Una vez generados los pulsos, el A-ITA grafica el registro temporal de los consumos de agua totales en color azul, los de agua caliente están graficados en color rojo y los pulsos en color rosa, esta superposición de datos nos permite identificar el origen de cada pulso. En la figura 4-3, se muestra la interface de usuario del A-ITA que nos permite clasificar los pulsos y a continuación explicamos cómo funciona y qué información despliega. La clasificación de los pulsos identificando los microcomponentes se puede hacer con un algoritmo de identificación de pulsos¹⁷ o de manera visual donde un usuario entrenado del A-ITA clasifica manualmente pulso por pulso. En este estudio la identificación fue visual, se clasificaron 4600 pulsos aproximadamente. Se decidió hacer una identificación visual en vez de utilizar un algoritmo al momento de identificar los pulsos. Cada aparato de una sala de aseo tiene un patrón de consumo característico, y gracias a esto el usuario entrenado del A-ITA puede identificar cuáles son los aparatos sanitarios que generan cada pulso.

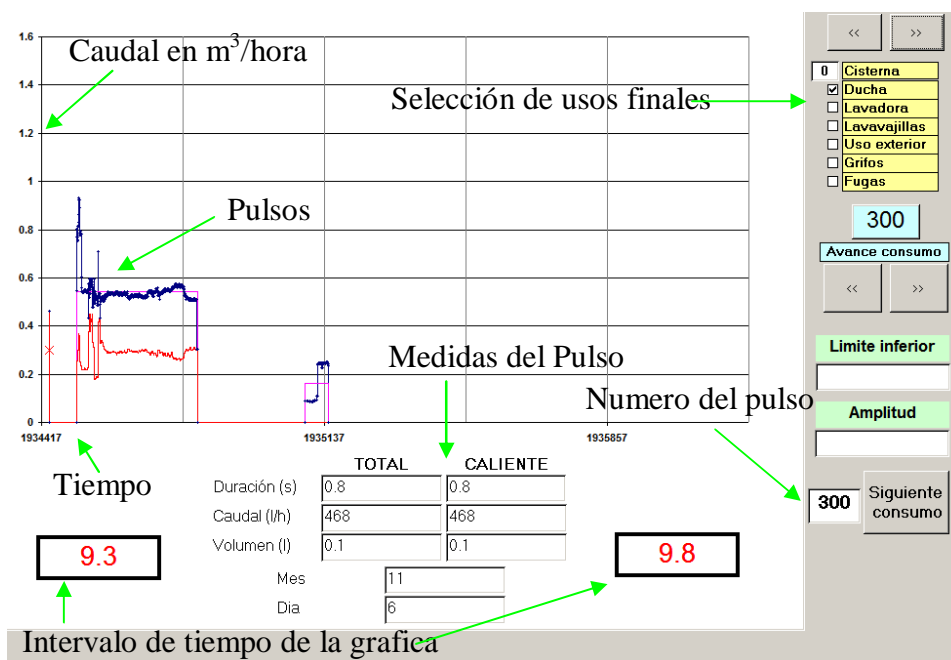


Imagen 3 [4.2-3] Formulario A-ITA

¹⁷ E.J.M.Blokker¹; E.J. Pieterse-Quirijns²; J.H.G.Vreeburg³; J.C. van Dijk⁴, Simulating Nonresidential Water Demand with a Stochastic End- Use Model, November/ December 2011, Journal of Water Resources Planning and Management, American Society of Civil Engineers, DOI 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000146.

El formulario muestra información detallada de cada pulso, cómo duración, caudal y volumen, aparte muestra información temporal cómo el intervalo de tiempo, el mes y el día de la información visualizada en la grafica. En el eje de las abscisas se muestra el tiempo y en el eje de las ordenadas aparece la escala del caudal en metros cúbicos por hora. Este formulario permite seleccionar cada pulso especificando el número del pulso, también se puede recorrer el registro de pulsos con los botones de navegación. La selección del pulso permite adjudicar a cada pulso un uso final. El uso final lo define el usuario de la herramienta informática y depende de la forma del pulso, sirve para identificar a que aparatos sanitarios generaron el caudal registrado. En el caso de la habitación de un hotel, el uso final puede ser Cisterna, Ducha, Grifos y Fugas. Hace falta comentar que el *A-ITA* fue desarrollado para identificar los pulsos en un hogar, por esto encontramos mas usos finales de los que se puede esperar en una habitación de hotel cómo Lavadora, Lavavajillas y Uso exterior, estos usos no son utilizados en este estudio. Podemos numerar la cantidad de cisternas que contiene un pulso, esto se debe a que en algunos casos la cisterna es utilizada varias veces antes de que termine el llenado, el resultado es un pulso que corresponde a varias descargas de cisternas cómo se muestra en la Imagen 4-4, donde vemos un pulsos formado por uso consecutivo de 2 cisternas y un grifo con agua caliente.

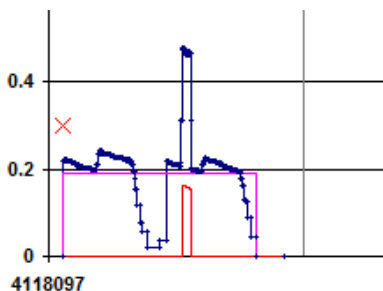


Imagen 4 [4.2-4] Uso consecutivo de 2 cisternas en un pulso

La identificación visual de pulsos podría parecer difícil, pero no lo es. Gracias a la superposición de pulsos, registro instantáneo de caudales totales y caudales de agua caliente, la amplitud de los pulsos en metros cúbicos por hora y la duración de los pulsos, podemos saber a qué aparato corresponde cada pulso. Se distinguen cuatro elementos principales para la identificación, la forma característica, la amplitud, duración y la presencia de pulso de agua caliente. La simultaneidad de utilización de los aparatos sanitarios y la diferencia del caudal de agua fría y agua caliente son dos criterios indispensables en la clasificación de pulsos. Estos factores se muestran en la Imagen 4-5.

Entre los pulsos generados por cisternas; la amplitud, la duración y sobre todo el perfil son muy similares y tienen un patrón de consumo repetitivo, en una habitación solo varía la frecuencia a lo largo del día, entonces es fácil identificar todos los pulsos que corresponden a las cisternas. Cuando un grifo y una cisterna se utilizan simultáneamente, el registro instantáneo de caudal muestra una cresta adicional, esto se explica por la regla de la adición de gráficas que se representa en el Imagen 4-2. Las cisternas solo consumen agua fría, podemos ver que cuando se presentan estos consumos, el volumen de agua caliente es nulo. Para explicar con mayor detalle el ejemplo, describimos la Imagen 4-5. El criterio de forma característica lo podemos ver en los pulsos 3 y 4 donde la amplitud y duración de los pulsos son muy similares, aparte el perfil de la serie de datos al final de los pulsos tiene la misma forma curva donde la pendiente disminuye al acercarse al caudal nulo, esta forma se debe al fruncimiento de válvula de la cisterna que depende de la presión de la toma y la velocidad con la que se llena la cisterna. El criterio de simultaneidad los podemos ver en el pulso 3, donde vemos cómo el pulso definido de cisterna tiene una serie y un pico de caudal de poca duración en la cresta, el pico corresponde al caudal de un grifo, sabemos que es el caudal de un grifo porque presenta un consumo de agua caliente, aparte tiene la forma y duración esperados de un evento en el que un usuario se lava las manos, podemos ver similitud en la intensidad, duración y forma con los pulsos 1 y 2. Por último vemos cómo el agua caliente se presenta en los pulsos de los grifos y no en los de las cisternas. En resumen, la identificación de los microcomponentes de los pulsos de ejemplo es la siguiente: pulso 4 solo cisterna, pulso 3 cisternas con grifo de agua caliente, pulso 1 y 2 solo grifo de agua caliente. Con estos tres criterios se identificaron y clasificaron los 4600 pulsos. En algunos casos puede ser difícil determinar los microcomponentes porque no todos los pulsos encajan en un patrón identificado, estos patrones atípicos prolongan el tiempo de identificación de pulsos y pueden generar errores de clasificación.

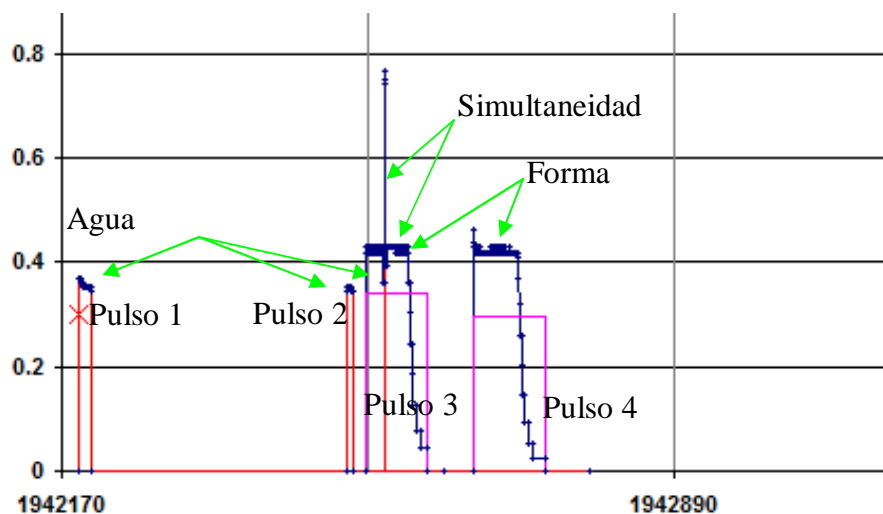


Imagen 5 [4.2-5] Características de los Pulsos

4.2.4 Características de Pulsos

Ya hemos definido los criterios de clasificación de los pulsos, ahora hace falta describir las características de los usos finales de cada pulso, donde cómo ya hemos mencionado se distinguen 4 tipos usos finales, cisternas, grifos, duchas y fugas. Describimos de manera simplificada las características observadas para cada uso final

4.2.4.1 Pulsos de cisternas

El usuario de los aparatos sanitarios de aseo no controla el caudal de salida de la cisterna, la acción del usuario solo se ve reflejada en la frecuencia de eventos por día. La forma del patrón de consumo de la cisterna es distinta en cada habitación por diferencias de presión en la conexión o por diferencias mecánicas de las válvulas. Por ejemplo una cisterna de una habitación puede tener un pulso largo y aplanado, mientras que la cisterna de otra habitación puede tener un pulso de gran amplitud y poca duración, cómo se muestra en la Imagen 4-6, tanto el pulso 1 cómo el pulso 2 son pulsos de cisternas, la diferencia es que la válvula de seccionamiento de la cisterna 2 tiene un menor grado de apertura, que provoca una menor presión de salida con un menor caudal, provocando que la cisterna del pulso 2 se llene más lentamente. Es por esta clase de detalles que la utilización de algoritmos automatizados para la clasificación de pulsos, puede generar resultados erróneos. El usuario entrenado del *A-ITA* puede reconocer estas diferencias haciendo una observación rápida de algunos pulsos, por esta razón en este estudio utilizamos el reconocimiento visual de los pulsos para la identificación y clasificación de los microcomponentes del consumo de agua en las habitaciones del hotel.

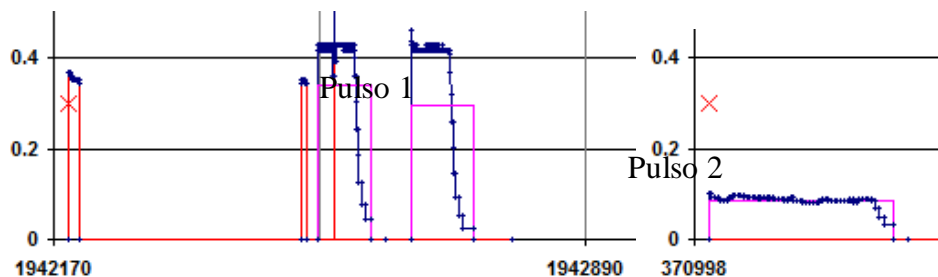


Imagen 6 [4.2-6] Ejemplo de formas distintas de pulsos de cisternas

4.2.4.2 Pulsos de grifos y duchas

Los grifos y la ducha tienen patrones de consumo similares, el caudal depende del usuario, ya que es él quien regula el gasto de agua según sus preferencias o necesidades. El caudal y la duración suele ser mayores para las duchas en comparación con los grifos. El patrón de la ducha siempre empieza con un pico de caudal, seguido de un ajuste de la temperatura del agua. Los pulsos de los grifos suelen ser eventos puntuales de corta duración. Hemos observado que la forma de los pulsos de las duchas puede ser de dos tipos, en la primera, el caudal es constante como mostramos en la Imagen 4-7, donde observamos el pico inicial de regulación de caudal y temperatura, seguido de un caudal constante, vemos un consumo mezclado de agua fría y caliente, esta ducha duró 24 minutos y empleó un total de 142 litros de agua. Otro tipo de patrón de ducha se presenta como una serie de pulsos de corta duración y que se repiten en un intervalo corto de tiempo, en particular esta clase de duchas son difíciles de clasificar porque pueden confundirse con varios usos consecutivos de grifos, mostramos una imagen de ejemplo Imagen 7-8 donde vemos 3 pulsos que distinguimos como duchas por la magnitud del caudal, el uso de agua caliente y por la cresta inicial de regulación.

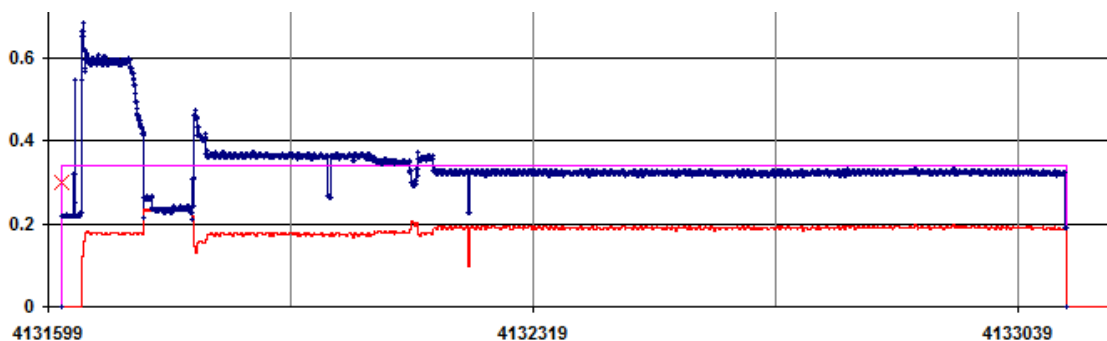


Imagen 7 [4.2-7] Caudal constante de ducha

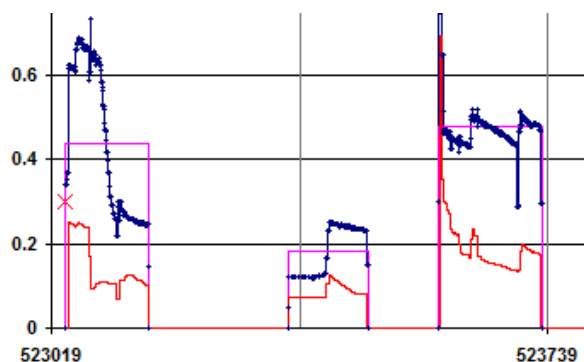


Imagen 8 [4.2-8] Ducha de varios Pulsos

4.2.4.3 Fugas

Por último dentro de los pulsos distinguimos el patrón de la fuga, que se presenta como un caudal constante de larga duración, el caudal de salida de las fugas, suele ser bajo. En la Imagen 4-8 se muestra el registro de una fuga que duró 5 horas y en la que se desperdiciaron 200 litros.

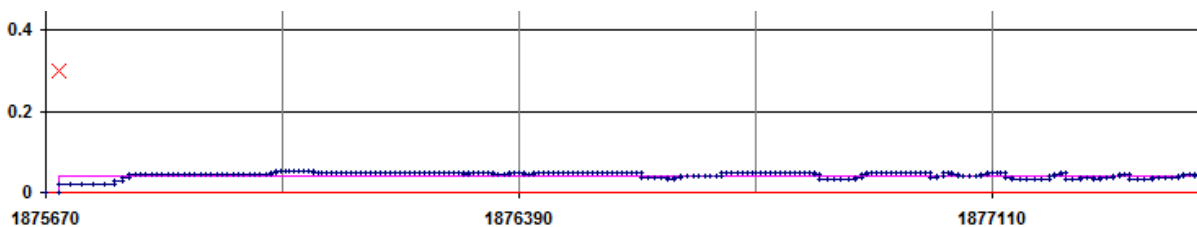


Imagen 9 [4.2-8] Pulso de una Fuga

4.2.5 Resultados de la clasificación de pulsos

El resultado de la identificación y caracterización de los usos finales, es una tabla de Microsoft Access en la que se registra la información de cada pulso, como: el número del pulso, un número booleano negativo que designa el uso final del pulso con un -1 cuando dentro del pulso se encuentra el registro de un aparato y 0 cuando no hubo consumo de un aparato, el volumen, duración y caudal total, el volumen, duración y caudal de agua caliente, la hora de ocurrencia del pulso con 4 decimales y la fecha con día, mes y año. En la Imagen 4-10 se muestra un ejemplo de la tabla de resultados, donde para el pulso número 3, identificamos el caudal de grifos y una cisterna, con un volumen total de 7.7 litros, una duración de 123.9 segundos y con un caudal de 224 litros por hora, sin consumo de agua caliente, el pulso corresponde a un consumo de agua efectuado a las 23.52 horas el día 6 del julio del 2009, el número del contador y la habitación en la que se midieron los caudales está registrado en el nombre del archivo de Access. Aunque pudiera parecer excesiva la cantidad de información almacenada por pulso, resulta útil contar con

un registro lo más detallado posible al momento de hacer correcciones, por otro lado mientras más información tengan los datos iniciales, se pueden trabajar con ellos para extraer una mayor cantidad de resultados. El siguiente paso es la creación de modelo estocástico.

Consumo	grifos	cistern	duchas	fugas	Volumen	Duracion	Caudal	Vol_cal	Dur_cal	Cau_Cal	Hora	Dia
1	0	0	0	0	23.4	302.5	278	10.2	156.7	234	17.7149	7/6/2009
2	-1	0	0	0	1.5	23.3	232	0	0	0	17.8157	7/6/2009
3	-1	-1	0	0	7.7	123.9	224	0	0	0	23.52	7/6/2009
4	-1	0	0	0	0.4	7.1	204	0	0	0	8.0315	7/7/2009

Imagen 10 [4.2-10] Resultado Final del Clasificación de Pulsos

Con el A-ITA obtuvimos 11 tablas de resultados cómo la que se ha descrito. Estas 11 tablas fueron exportadas a 11 archivos de Microsoft Excel. Todos estos registros se unificaron en una sola hoja de Excel con 4600 registros. En la tabla de Excel se encuentran los mismos campos que las tablas de Access, se agregó a la tabla el campo identificador, donde se mostraba el número de serie con el número del datalogger la fecha de registro, la habitación del hotel donde se midieron los caudales y un numero indicando la tabla de la que procedían los registros, aparte se agrego otro número que enlista todos los datos contenidos en la tabla unificada. Por el momento, uno de los resultados que podemos obtener de la tabla unificada es la cantidad de litros de agua fría y agua caliente que se ha consumido en las habitaciones, en las 11 habitaciones se consumieron 27 600 litros de agua fría y 14600 litros de agua caliente, en la imagen 4.2-11 se muestra la distribución de este consumo en porcentaje, vemos que el 35% de agua que se consume en las habitaciones del hotel es de agua caliente.

Distribución real del consumo de agua fría y caliente las habitaciones del hotel.

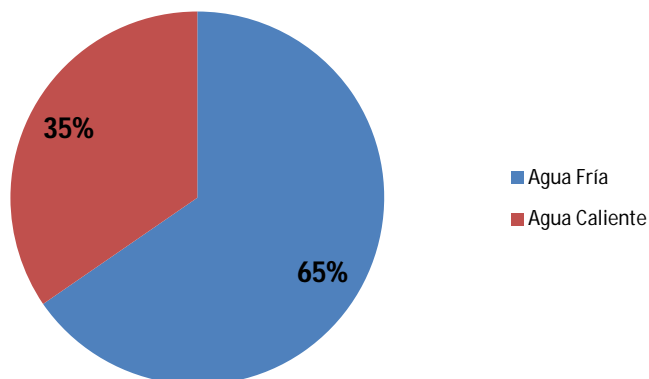


Imagen 11 [4.2-11] Distribución del consumo de agua caliente y fría de un hotel

4.3 Filtro de datos

Recapitulando, el proceso dentro del modelo consiste en separar las distintas características de conjunto de datos, extraer parámetros estadísticos que caracterizan la población de datos original, con esto se genera una serie nueva que se asemeja lo suficiente a los datos originales y por último se ensamblan las nuevas series de cada uso final para conformar un punteo en el tiempo de datos que se asemeja al registro hecho en campo. Debido a que los registros corresponden a los consumos en una habitación de hotel, el resultado del modelo corresponde también a los consumos de solo una habitación de hotel. Una de las variables del modelo son los usos finales del agua empleados por distintos aparatos de baño, es decir el tipo de aparato en que se gasta agua, de los que distinguimos para la habitación de un hotel: cisternas, grifos de agua fría, grifos de agua caliente, duchas de agua fría y duchas de agua caliente. Observamos distintos patrones identificables en el funcionamiento los aparatos sanitarios, que depende de la utilización que el usuario haga de ellos, estos patrones se pueden apreciar si los observamos dentro de una escala temporal o si comparamos dos patrones o si representamos frecuencias de una variable en el conjunto de pulsos. Entendemos el concepto de patrón en su sentido abstracto, es decir, una forma o modelo o simulación, en general; un conjunto de reglas que pueden ser usadas para crear o generar entidades o partes de una entidad. Definimos entonces para este modelo al patrón como el conjunto de un tipo de variable, donde los tipos de variables son: el volumen consumido en litros, el número de eventos por intervalo de tiempo a lo largo de un día, la hora de ocurrencia de un evento y la duración de cada evento. Entonces tendremos 5 aparatos sanitarios y 4 patrones para cada uso, en total el modelo trabaja con 20 series de datos. El modelo estocástico emplea una serie de subrutinas ejecutadas en Visual Basic Applications de Microsoft para Excel 2007© para procesar filtrar las variables de los patrones. También en este modelo se organizan los datos en distintas Hojas de Excel, la primera hoja corresponde al conjunto total de datos que se genero con el *A-ITA* y en el resto de hojas se separa los datos por uso final.

Filtramos los datos clasificados para separar conjunto total de datos en varios subconjuntos con características específicas. Las características de los subconjuntos dependen del patrón que queremos reproducir, como por ejemplo: si queremos obtener el patrón de los consumos de agua fría realizado por los grifos, se extraen de la tabla general de datos solo los pulsos que corresponden al consumo de agua fría de grifos. El filtro consta de 3 sub-filtros que separan: el

conteo de eventos para cada uso final, los pulsos de uso único de cisternas, agua fría y agua caliente, y el último sub-filtro separa los pulsos únicos de agua caliente y fría entre grifos y duchas. El resultado de los filtros son matrices que se guardan en distintas hojas de Excel, dependiendo del uso. Para separar los usos finales utilizamos el número identificador booleano que se registró en el pre-proceso de clasificación de pulsos. En términos generales, el filtro copia y pega los registros de la hoja general a otra hoja dependiendo del uso final, la selección se hace bajo distintos criterios dependiendo de qué parámetros nos interesa reproducir.

4.3.1.1 Separación de los volúmenes de los pulsos aislados de cada uso final

Los pulsos aislados correspondan solo a un uso final, dicho de otra forma, los pulsos que contienen el consumo de más de un aparato de baño son descartados con el filtro, esto nos permite obtener órdenes de magnitud de un aparato aislado, sin necesitar restar el volumen de otros aparatos sanitarios. Se filtra los volúmenes de esta manera ya que es complicado o arbitrario determinar los valores a restar a los pulsos combinados. Para ejemplificar, imaginemos el caso de un pulso que contiene el volumen de una cisterna y un grifo, nos podemos preguntar qué parte del volumen total corresponde al grifo y qué parte corresponde a la cisterna, podríamos asignarle un valor promedio al volumen de la cisterna pero cómo no existe una variabilidad suficientemente grande entre los volúmenes de las cisternas, siempre se cometerá un error al momento de separar volumen en un pulso. Para darnos una idea de la variabilidad de los volúmenes, se registraron consumos en cisternas que pueden oscilar entre 9 y 2 litros. Para los volúmenes, se realiza un doble filtro en donde primero se separa cada uso final y el volumen de los pulsos aislados.

**Distribución Real de
Volúmenes de Pulsos Aislados**

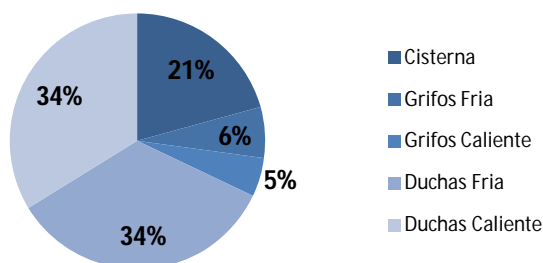


Imagen 12 [4.3-1] Distribución de la suma de todos los volúmenes reales filtrados por pulsos aislados

Los resultados del primer filtro son los volúmenes de los pulsos aislados por uso final. En la imagen 4.3-1 mostramos la distribución de los volúmenes. Con este filtro obtenemos 5 matrices, una para cada uso final, que son empleadas por el modelo para ajustar una función de distribución de probabilidad Gamma.

4.3.1.2 Filtrado de la fecha y hora de la utilización para cada uso final.

El segundo filtro separa los eventos por uso final, la acción es la misma, copiar registros de la hoja general y pegarlos en las distintas hojas dependiendo el uso. A diferencia del filtro anterior, no es importante que un pulso contenga varios usos finales, puesto que nos interesa contar cuántas veces a lo largo de un día se ha utilizado un aparato y a qué hora del día se utilizo. El resultado de de este filtro se utilizará para ajustar una función de distribución de probabilidad Gamma al conteo de eventos por día de cada uso final y para obtener una curva de probabilidad acumulada para la hora de ocurrencia de los eventos, entonces este filtro nos sirve para separar dos parámetros de la serie de datos que nos interesan; la hora y el día de cada evento. En la imagen 4.3-2 podemos ver el resultado del filtro resumido en un grafica de pastel donde podemos ver que el aparato que más se utiliza en una sala de baño es el grifo de agua fría con 31% del conteo de eventos totales.

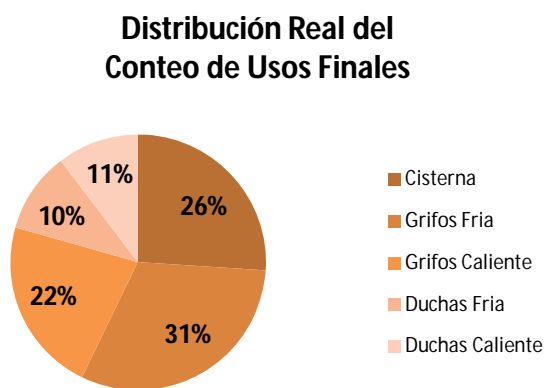


Imagen 13 [4.3-2] Distribución de la suma de la cantidades totales de eventos reales por uso final

Una manera más clara de visualizar el resultado del filtro es graficando la serie de volúmenes referenciados en el tiempo, antes y después del filtro. La primera es la imagen 4.3-3 muestra el

volumen de agua consumida representada por pulsos, en un periodo de 25 días podemos ver cómo varia el consumo.

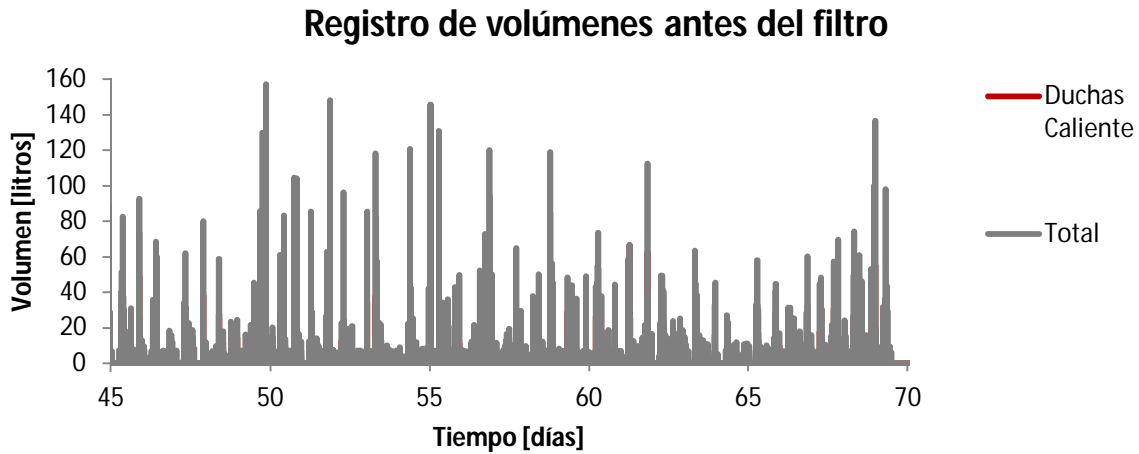


Imagen 14 [4.3-3] Registro de volúmenes reales referenciados en el tiempo antes del filtro

La imagen 4.3-4 muestra 5 series de datos, una para cada aparato sanitario, este resultado fue generado por el filtro de pulsos únicos. Podemos apreciar con la superposición de las series que forman un perfil similar a la serie original de datos.

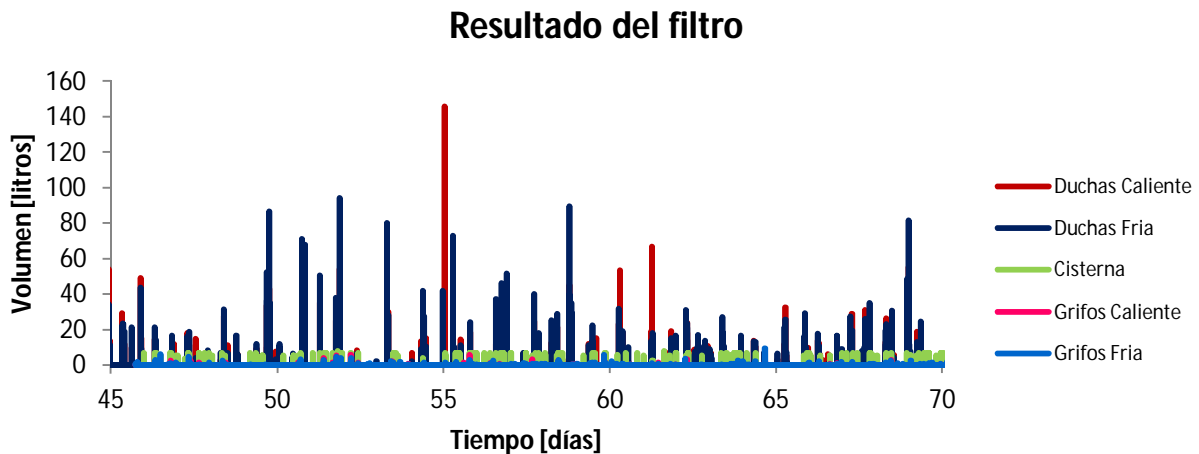


Imagen 15 [4.3-4] Serie de volúmenes reales de los usos finales referenciados en el tiempo, resultado del filtro para pulsos únicos

4.4 Funciones de distribución de Probabilidad

Reconociendo que las variables de los pulsos tienen una naturaleza estocástica¹⁸, hacía falta encontrar una herramienta estadística que nos permita trabajar con series de datos. Antes que nada, identificamos las variables como aleatorias e independientes, esto quiere decir que el uso final, el volumen, la duración, la hora de utilización y la cantidad de veces que se utiliza un aparato en un día, son variables que no dependen entre sí y pueden presentar cualquier valor dentro de un rango, esto se debe a que dependen de la utilización del usuario. La herramienta estadística que encontramos para trabajar con este tipo de variables son las funciones de distribución de probabilidad (FDP). Las FDP que mejor se ajustan a nuestra serie de datos son las funciones Gamma, Normal y Weibull, como veremos en la sección 4.4.3.1 “Funciones de distribución de probabilidad Gamma”, las FDP están definidas por las siguientes ecuaciones:

$$f_{dp}(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{con } x \in \mathbb{R}$$

Ecuación 1 [4.4-1] Distribución Normal

$$f_{dp}(x, \alpha, \lambda) = \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\lambda x} \quad \text{con } x \in \mathbb{R}^+$$

Ecuación 2 [4.4-2] Distribución Gamma

$$f_{dp}(x, \alpha, \beta) = \alpha\beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} \quad \text{con } x \in \mathbb{R}^+$$

Ecuación 3 [4.4-3] Distribución Weibull

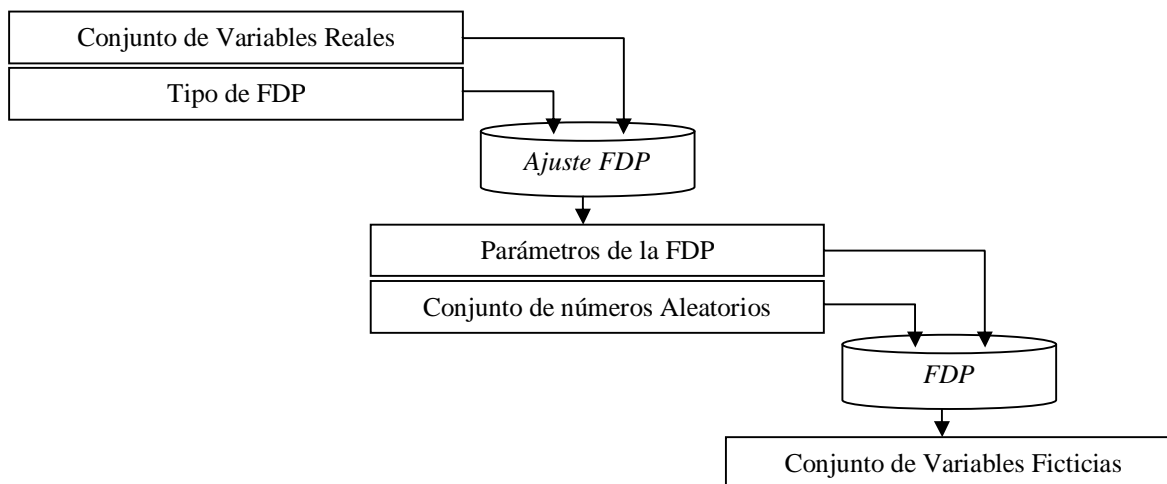
En las siguientes secciones de este apartado, mostramos cómo son utilizadas las funciones de distribución de probabilidad para este modelo estocástico. También definiremos los parámetros que resultaron del ajuste de las FDP a cada una de las variables de los pulsos y explicaremos el procedimiento empleado en el modelo para creación de series ficticias de consumos de agua fría y caliente de la habitación de un hotel.

¹⁸ García, Vicente Juan1; García Bartual, Rafael2; Cabrera, Enrique M.ASCE3; Arregui Francisco4; García Serra Jorge5, Stochastic Model To Evaluate Residential Water Demands, September/ October 2004, Journal Of Water Resources Planning And Management, American Society of Civil Engineers, DOI 10.1061/(ASCE)0733-9496(2004)130:5(386)

4.4.1 Utilización de las funciones de distribución de probabilidad

Las FDP pueden ser utilizadas para obtener la función de densidad de probabilidad de la población que nos dice cuál es la probabilidad de cada una de las variables, también las funciones de distribución de probabilidad se pueden utilizar para realizar el proceso contrario, esto quiere decir que se puede generar un conjunto de variables con las probabilidades. Dicho de otra forma, en el primer caso obtenemos las probabilidades de las variables y en el segundo obtenemos las variables con las probabilidades, así trabajan las DFP.

El objetivo de este modelo es reproducir un conjunto de pulsos ficticios similares al conjunto de pulsos reales y utilizamos las FDP para generar una serie de datos ficticia con las características de la serie de datos reales. El primer paso es ajustar varias FDP que para que tengan la misma distribución de los distintos rasgos de la población de conjuntos, una vez ajustadas las FDP que describen los datos reales podemos obtener las variables ficticias en función de sus probabilidades. Sabiendo que la magnitud de las variables reales es aleatoria, asumimos que su probabilidad de ocurrencia de las variables ficticias también lo es, por esta razón la serie de probabilidades de los datos ficticios es una serie de números aleatorios comprendidos entre 0 y 1. Entonces, con las FDP ajustadas y una serie de números aleatorios, generamos los pulsos ficticios. Mostramos el esquema de la imagen 4.4-1 para representar el proceso de utilización de las FDP.



Esquema 2 [4.4-1] Esquema del ajuste y utilización de las FDP para la generación de un conjunto de datos ficticios similar al conjunto de datos reales

4.4.2 Ajuste de las funciones de distribución de probabilidad con R

Utilizamos la guía de Vito Ricci, *Fitting distributions with R*¹⁹ para el ajuste de las funciones de probabilidad a los distintos rasgos de la población de pulsos reales. “R” es un programa de libre acceso en el cuál se pueden realizar una gran variedad de cálculos y en el que está definido un amplio repertorio de FDP. El método de Vito Ricci de ajuste de las FDP con R nos sirvió para encontrar el cálculo de los factores de escala y forma, aparte definimos la FDP que mejor se ajusta a la mayoría de las variables, por ultimo comparamos que las FDP de Excel y R, comprobando que fueran similares, nos aseguramos que los resultados son validos.

Las funciones de distribución de probabilidad (FDP) tienen dos características principales: factor de escala y factor de forma, las FDP y estos dos parámetros nos permiten reproducir poblaciones con rasgos similares. Se le denomina ajuste de la FDP a la estimación o cálculo del factor de escala y de forma.

Existen tres métodos en R para determinar los factores de escala y forma de una serie de datos, estimando con iteraciones partiendo del promedio, el método de los momentos estadísticos y el método de la máxima similitud. El método de los momentos estadísticos requiere una solución analítica, Vito Ricci muestra el procedimiento de esta resolución para la FDP Gamma²⁰, donde el factor de escala y forma se obtienen con la media y la varianza del conjunto de datos, el resultado de la resolución analítica se muestra en la ecuación 4.4-4 de α el factor de forma, 4.4-5 de λ el ratio y 4.4-6 de β el factor de escala, x la media y s la desviación estándar. Estos son los parámetros que utilizaremos para las FDP del Modelo en Estocástico programado con VBA en Excel©.

$$\hat{\lambda} = \frac{\bar{x}}{s^2}$$

Ecuación 4 [4.4-4] Ratio λ

¹⁹ Vito Ricci, *FITTING DISTRIBUTIONS WITH R*, Release 0.4-21 February 2005

²⁰ Vito Ricci, *FITTING DISTRIBUTIONS WITH R*, Release 0.4-21 February 2005

$$\hat{\alpha} = \frac{\bar{x}^2}{s^2}$$

Ecuación 5 [4.4-5] Factor de Forma α

$$\hat{\beta} = \frac{1}{\bar{\lambda}}$$

Ecuación 6 [4.4-6] Factor de Escala β

Los otros métodos que nos sirven para estimar los factores de escala y forma utilizando herramientas disponibles en el catalogo de funciones de R. Uno de ellos es el método de la máxima similitud o MLE²¹ por sus siglas en ingles (method of maximum likelihood), el método MLE²² ajusta los factores de escala y forma optimizando una función, aproximando la escala y forma para encontrar la máxima similitud entre la FDP y una serie de datos, los cálculos que intervienen en este procedimiento están definido con mayor detalle en la publicación de Vito Ricci²³. Para saber cuál de todos los métodos ajustan mejor los parámetros de escala y forma de las FDP, utilizamos tres métodos para el ajuste la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos de consumo de agua caliente de duchas. Para el ajuste utilizamos las ecuaciones resultantes de la resolución analítica con momentos estadísticos, una función disponible en el catalogo de funciones MASS de R que se nombra fitdistr() y que realiza el ajuste por aproximaciones, por ultimo empleamos otra función disponible en el catalogo de funciones stats4 de R que es mle() y realiza el ajuste por el método de la máxima similitud. El código de programación en R para el ajuste por los tres métodos es el siguiente:

²¹ R Documentation, Maximum Likelihood Estimation, <http://127.0.0.1:29486/library/stats4/html/mle.html>

²² Maximum likelihood - Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Maximum_likelihood

²³ Vito Ricci, FITTING DISTRIBUTIONS WITH R, Release 0.4-21 February 2005


```
# 1) Ecuaciones de la resolución
analítica con los momentos
estadísticos.

s=var(x)/mean(x)
s
sh=mean(x)^2/var(x)
sh
r=1/s
r
l=length(x)
l

# 2) Ajuste con fitdistr(), proceso
iterativo para el ajuste

library(MASS)
est.f <-fitdistr(x, "gamma")
#guarda el resultado en una variable
est.fit <-est.f$estimate

sh.fit <-est.fit[1]
r.fit <-est.fit[2]

s.fit=1/r.fit

# 3) mle(), método de la máxima
similitud

library(stats4)
n <- 1

ll<-function(lambda,alfa)
{-
n*alfa*log(lambda)+n*log(gamma(alfa))-
(alfa-1)*sum(log(x))+lambda*sum(x)}

est.m<-mle(minuslog=ll,
start=list(lambda=2,alfa=1))
est.mle <-est.m@coef

sh.mle <-est.mle[2]
r.mle <-est.mle[1]
s.mle=1/r.mle

summary(est.mle)
```

Código 1 [4.4-1] Programación en R para el ajuste de los factores de escala y forma por tres métodos

El parámetro x en el código, es el vector que contiene los valores de la serie original a la que queremos realizar el ajuste de la FDP Gamma. El resultado de estos 3 ajustes son el factor de escala, el factor de forma y el ratio, presentados en la tabla 4.4-1. Donde vemos que los órdenes de magnitud de parámetros son parecidos en los tres métodos de ajuste.

	Factor de Forma	Factor de Escala	Ratio
	α	β	λ
Ecuaciones	0.774110	19.65293	0.05088300
Aproximación	0.850663	17.88438	0.05591472
Máxima Similitud	0.850798	17.88177	0.05592287

Tabla 1 [4.4-1] Comparación de los factores de escala y forma obtenidos con tres métodos

Para saber cuál de los tres métodos realiza un mejor ajuste, se hizo una comparación visual superponiendo las series ordenadas de menor a mayor de los datos originales y las FDP Gamma con factores de escala y forma que acabamos de obtener. En R están definidas una gran variedad de FDP, incluida la función Gamma²⁴, con R podemos obtener para cada FDP una serie de

²⁴ R Documentation, The Gamma Distribution, <http://stat.ethz.ch/R-manual/R-patched/library/stats/html/GammaDist.html>

números con la distribución de FDP, la probabilidad de cada valor de la FDP, la función de densidad de la FDP y una serie de números aleatorios que tienen la forma de la FDP. Utilizamos la FDP Gamma definida en R para obtener las series de datos con los distintos factores de escala y forma. Mostramos ahora el código de programación en R para la comparación grafica de las FDP Gamma con los datos reales:

```
#Grafica la serie original y las series
aleatorias de FDP Gamma con los valores
de fitdistr(), mle() y las ecuaciones
de los momentos estadísticos.
maxy=max(x)

plot( sort(x),type = "s", xlim=c(0,1),
ylim=c(0,maxy), xlab='dato',
ylab='litros', col="green" )

m1=rgamma(1, sh, r,s)
par(new=TRUE)
plot( sort(m1),type = "s", xlim=c(0,1),
ylim=c(0,maxy), xlab=' ', ylab=' ',
col="blue" )

m2=rgamma(1, sh.fit, r.fit,s.fit)
par(new=TRUE)
plot( sort(m2),type = "s", xlim=c(0,1),
ylim=c(0,maxy), xlab=' ', ylab=' ',
col="red" )

m3=rgamma(1, sh.mle, r.mle,s.mle)
par(new=TRUE)
plot( sort(m3),type = "s", xlim=c(0,1),
ylim=c(0,maxy), xlab=' ', ylab=' ',
col="gray" )
```

Código 2 [4.4-2] Programación en R para graficar las series FDP Gamma ajustadas por tres métodos

El resultado de este código es la gráfica que mostramos en la Imagen 4.4-2, donde están representados por orden de menor a mayor los datos de la serie original y las distintas FDP Gamma ajustadas. La serie de color verde corresponde a los datos originales, la serie azul es de la FDP Gamma de las ecuaciones, la serie de color rojo es de la FDP Gamma de método de aproximaciones y la serie gris es del método de la máxima similitud. Podemos observar en esta gráfica que el ajuste es correcto en todos los casos, ya que las gráficas son muy similares, con esta gráfica también nos aseguramos de haber utilizado adecuadamente los factores de escala y forma en la FDP. Con el código 4.4-2 podemos ver cómo se define la FDP Gamma en el lenguaje de programación de R, en general vemos las variables que son utilizadas en la función de distribución de probabilidad.

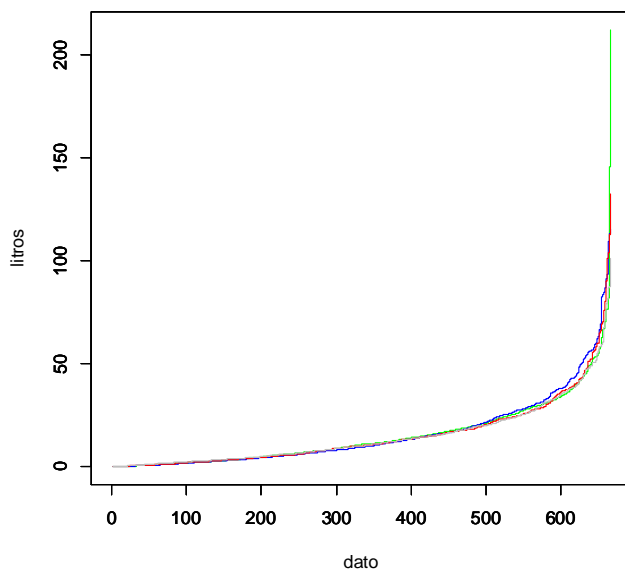


Imagen 16 [4.4-2] Grafica de datos ordenados de menor a mayor de la serie original y las FDP Gamma ajustadas con los métodos de la máxima similitud, aproximación y las ecuaciones de los momentos

Otra manera de comprobar o encontrar el mejor método para el ajuste de las FDP es sumar los errores absolutos entre la serie de datos ordenados de menor a mayor, del conjunto de valores originales y FDP Gamma de cada método. Esto lo realizamos en R con el siguiente código de programación y el resultado de este cálculo se muestra en la tabla 4.4-2.

```
e1=sum(abs(sort(m1)-sort(x)))
e1

e2=sum(abs(sort(m2)-sort(x)))
e2

e3=sum(abs(sort(m3)-sort(x)))
e3
```

Código 3 [4.4-3] Programación en R para calcular la suma del error absoluto de las diferencias entre las series obtenidas con las FDP Gamma ajustadas y la serie de datos real

El código 4.4-3 podemos ver la ecuación para el cálculo de la suma de errores absolutos, donde `sum()` es una suma, `abs()` obtienen valores absolutos y `sort()` ordena de menos a mayor. Las variables `m1`, `m2` y `m3` son los vectores que contienen la serie de datos obtenidas con las FDP Gamma y `x` es el vector que almacena la serie de datos reales.

	Suma Errores Absolutos
Ecuaciones	620.80
Aproximación	786.00
Máxima Similitud	820.80

Tabla 2 [4.4-2] Comparación de los distintos métodos de ajuste con suma la suma de los errores absolutos

Gracias a esta comparación, podemos ver que los tres ajustes son buenos, ya que cómo vemos en la gráfica de imagen 4.4-2 las series de datos de las FDP Gamma se parecen a la serie original. También podemos ver que el error es menor para las ecuaciones de los momentos estadísticos. Reconocemos que es más fácil calcular el factor de escala y forma con dos ecuaciones en comparación con el método de ajuste por aproximaciones o el método de la máxima similitud, aparte podemos apreciar que el método de ajuste con las ecuaciones de los momentos estadísticos puede ser utilizado en Excel. Por estas razones decidimos hacer el ajuste de las funciones de probabilidad con las ecuaciones de los momentos estadísticos donde el factor de escala y forma están en función de la media y de varianza, cómo se muestra en las ecuaciones 4.4-4, 4.4-5 y 4.4-6 descritas anteriormente.

4.4.3 Las funciones de distribución de probabilidad empleadas en el modelo estocástico

4.4.3.1 Función de distribución de probabilidad Gamma

Nos planteamos la necesidad de escoger una FDP que pudiera adaptarse al mayor número de patrones ya que emplearíamos las FDP para obtener las series de los volúmenes, duraciones y el número de eventos por día. Conociendo la forma de las FDP podemos determinar visualmente cuál es la que más se parece a los datos reales, solo hace falta comparar el histograma de las probabilidades de los datos reales con la forma con la curva de densidad de probabilidad de la FDP que hemos ajustado, mostramos el histograma de tres patrones para darnos una idea de que tanto pueden variar la distribución de los distintos patrones de los datos reales, presentamos el histograma del conteo de eventos por día de utilización de grifos de agua caliente en la Imagen 4.4-3 cómo un ejemplo de una distribución Gamma o Weibull, el histograma de volumen de los

pulsos aislados de agua fría consumidos en duchas en la Imagen 4.4-4 cómo un ejemplo de una función de distribución exponencial y el histograma del volumen de los pulsos únicos del consumo en cisternas en la Imagen 4.4-5 cómo un ejemplo de una distribución normal. Para los tres histogramas el vector que almacena las series de datos en R es nombrado t, aparte delineamos una curva que perfila los valores representados en el histograma para resaltar con mayor claridad la forma de la serie de datos, para las tres graficas sugerimos el tipo de forma.

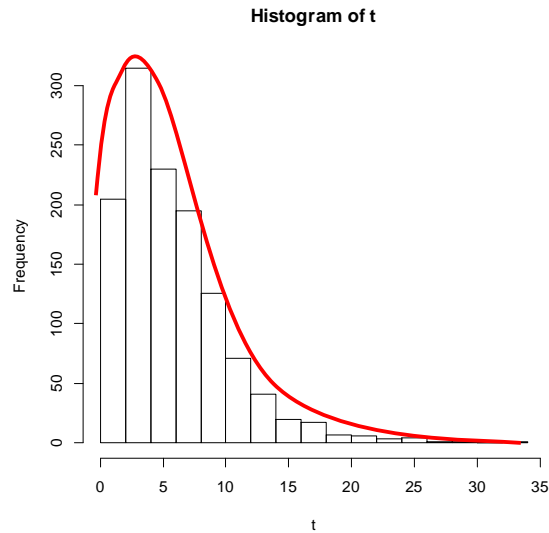


Imagen 17 [4.4-3] Histograma del conteo de eventos por día de utilización de grifos de agua caliente, ejemplo de distribución Gamma o Weibull

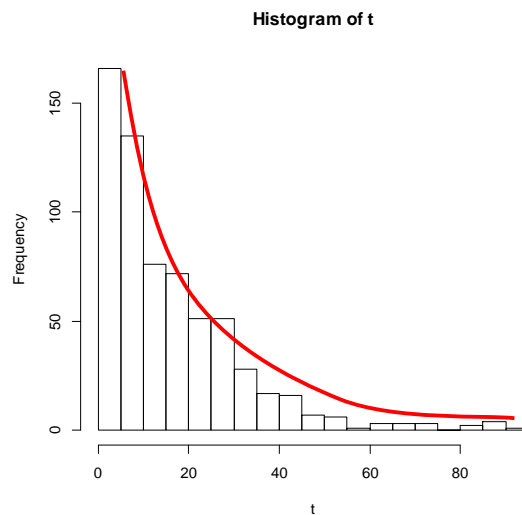


Imagen 18 [4.4-4] Histograma volumen de los pulsos aislados de agua fría consumidos en duchas, ejemplo distribución exponencial

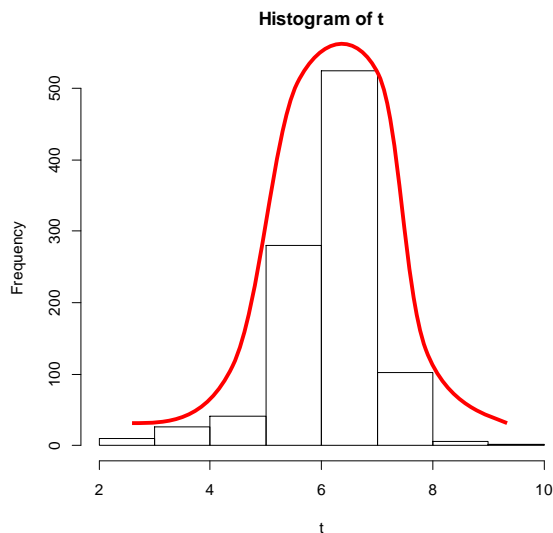


Imagen 19 [4.4-5] Histograma de volumen de los pulsos únicos del consumo en cisternas, ejemplo de distribución normal

Podemos constatar que la forma de la distribución cambia dependiendo de la variable de la serie de datos que tomemos. Dependiendo de la variable que analicemos, la distribución puede ser exponencial, normal o de la forma Gamma. Podemos decir que las FDP que mejor se ajustan a estas características son la FDP Gamma o Weibull, ya que estas dos pueden reproducir varios perfiles de distribuciones. Teníamos la intención de desarrollar la programación del modelo estocástico en VBA para Excel®, donde están definidas FDP Gamma y Weibull, pero no se pueden generar un conjunto de datos a partir de probabilidades con la FDP Weibull y este es un proceso indispensable para el modelo que queríamos desarrollar. Con la FDP Gamma definida en Excel, podemos obtener las probabilidades de las variables y las variables con las probabilidades, este proceso es necesario para el cumplir con los objetivos del modelo estocástico. Aparte, gracias a la comparación de los distintos métodos de ajuste de las FDP, encontramos una aproximación suficientemente buena para estimar los factores de escala y forma con las ecuaciones de los momentos estadísticos para la FDP Gamma. Aunado a todo esto, vemos que la FDP Gamma puede ajustarse a una diversidad de patrones de distribución muy amplia cómo se muestra en la Imagen 4.4-6, donde vemos que con distintos factores de escala y forma la FDP Gamma puede tomar la forma de una distribución normal, exponencial o Weibull. Encontramos entonces que la FDP Gamma satisface aceptablemente los requisitos que nos hemos planteado para el desarrollo de este modelo estocástico.

Funciones de Distribución de Probabilidad Gamma con distintos factores de forma α y factor de escala β

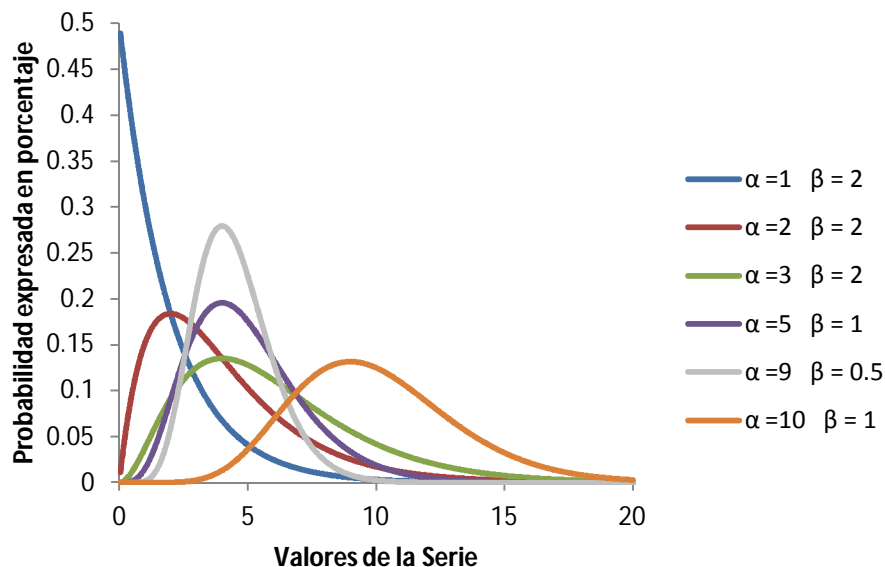


Imagen 20 [4.4-6] Perfil de las funciones de distribución de probabilidad Gamma con distintos factores de escala y forma

Podemos ver en la grafica de la imagen 4.4-6 , para un factor de forma $\alpha = 1$ y para un factor de escala $\beta = 2$ la FDP Gamma se asemeja bastante a una función exponencial, para un factor de forma $\alpha = 2$ y para un factor de escala $\beta = 2$ la FDP Gamma tienen la forma de una distribución Weibull para un factor de forma $\alpha = 10$ y para un factor de escala $\beta = 1$ la forma de la FDP Gamma es muy similar a una distribución normal.

Sabiendo que utilizaríamos la FDP Gamma para reproducir la serie de datos de los volúmenes y el número de eventos por día, calculamos para cada uso final los factores de escala y forma ajustados a la FDP Gamma con la ecuación de los momentos estadísticos. A continuación mostramos la tabla 4.4-3 con los parámetros estadísticos ajustados para el volumen para cada uso final, en la tabla 4.4-4 se muestran los mismos parámetros para las series de conteo de número de eventos por día para cada uso final. Con estos parámetros y las series de datos aleatorios, obtenemos las series ficticias de volúmenes y los días de ocurrencia de cada evento.

		Volúmenes de pulsos únicos				
		Cisternas	Grifos Fría	Grifos Caliente	Duchas Fría	Duchas Caliente
Forma	α	44.498	0.483	0.339	1.060	0.774
Escala	β	0.141	2.572	3.800	15.069	19.653
Ratio	λ	7.114	0.389	0.263	0.066	0.051

Tabla 3 [4.4-3] Ratio, factor de escala y factor de forma para los patrones de volúmenes de pulsos únicos consumidos para cada uso final

		Conteo del número de eventos por día				
		Cisternas	Grifos Fría	Grifos Caliente	Duchas Fría	Duchas Caliente
Forma	α	2.657	2.202	1.717	1.990	2.096
Escala	β	2.092	3.045	3.010	1.326	1.280
Ratio	λ	0.478	0.328	0.332	0.754	0.781

Tabla 4 [4.4-4] Ratio, factor de escala y forma de los patrones de conteo del número de eventos por día para cada uso final

4.4.3.2 Relación lineal corregida con la función de distribución de probabilidad Normal

Si bien la FDP Gamma se puede ajustar a varios patrones del conjunto de pulsos de consumo de una habitación de un hotel, no puede ser ajustada a todas las variables. Dentro de las variables que no serán reproducidas con la FDP Gamma está la duración de los pulsos y la hora de ocurrencia de los eventos. Por el momento describiremos la relación lineal corregida con la función de distribución de probabilidad Normal que método utilizamos para obtener los volúmenes de los pulsos ficticios.

Tratando las series de datos observamos que existía una relación entre el volumen consumido en cada evento y la duración del evento, por esta razón decidimos utilizar una regresión lineal para definir la relación entre estas dos variables. En la imagen 4.4-7 mostramos la gráfica, las duraciones de los pulsos en función del volumen, la ecuación de la regresión lineal y la línea de tendencia, en esta gráfica se representan el conjunto de pulsos aislados de agua fría consumidos en duchas.

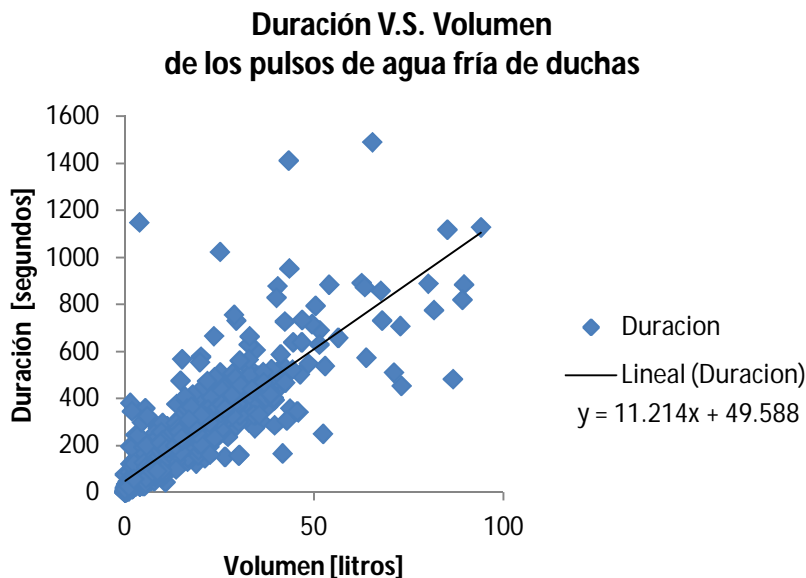


Tabla 5 [4.4-7] Regresión lineal de la nube de puntos del volumen V.S. duración de los pulsos aislados de agua fría de duchas

En la imagen 4.4-7 podemos ver que existe cierta relación entre el volumen y la duración de los pulsos. Decidimos establecer la relación entre estas dos variables con una regresión lineal, donde el cálculo de la pendiente y la ordenada al origen utilizan las mismas ecuaciones que utiliza Microsoft Excel 2007²⁵ para generar la ecuación de la línea de la tendencia que se inserta en los gráficos de Excel, este método se define con las siguientes ecuaciones:

$$\widehat{\beta}_1 = \frac{\sum x \sum y - n \sum xy}{(\sum x)^2 - n \sum x^2}$$

Ecuación 7 [4.4-7] Pendiente de la línea de tendencia

$$\widehat{\beta}_0 = \frac{\sum y - \widehat{\beta}_1 \sum x}{n}$$

Ecuación 8 [4.4-8] Ordenada al origen de la línea de tendencia

²⁵ Alfonso Arivilca, Visual Basic en Excel y Ajuste de Mínimos Cuadrados, De Esto y Lo Otro de La Ingeniería, blogg de Usuarios dedicados a la Ingeniería Química, lunes, 25 de julio de 2011, <http://borradoresalfonso.blogspot.com.es/2011/07/visual-basic-en-excel-y-ajuste-de.html>

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i$$

Ecuación 9 [4.4-9] Ecuación de la línea de tendencia

Realizamos la regresión lineal para los 5 usos finales de la habitación de un hotel para obtener la duración en función del volumen, donde β_0 es la ordenada al origen y β_1 es pendiente de la línea de tendencia, en los valores del volumen están representados por la variable “x” y los valores de la duración están representados por la variable “y”. También podemos ver en la grafica de la figura 4.4-7 que una ecuación de primer grado esboza de manera muy burda la relación entre el volumen la duración, por esta razón decidimos realizar una corrección a la regresión lineal con un FDP. Para realizar esto definimos las discrepancias entre la regresión lineal y los datos reales como errores, que se calculan restando el valor de la duración obtenida con la regresión lineal al valor real de la duración de los pullos aislados.

Decidimos ajustar entonces una FDP a las diferencias que existen entre la regresión lineal y la serie de datos originales, dicho de otra forma, ajustamos la FDP a los errores. Para determinar qué tipo de FDP utilizaríamos graficamos la distribución de los errores en un histograma. Gracias al histograma podremos observar las características del patrón de errores y lo cual nos permite encontrar una FDP que se ajuste suficientemente bien la forma del patrón de errores. Presentamos entonces el histograma de los errores en la imagen 4.4-10, obtenido con R.

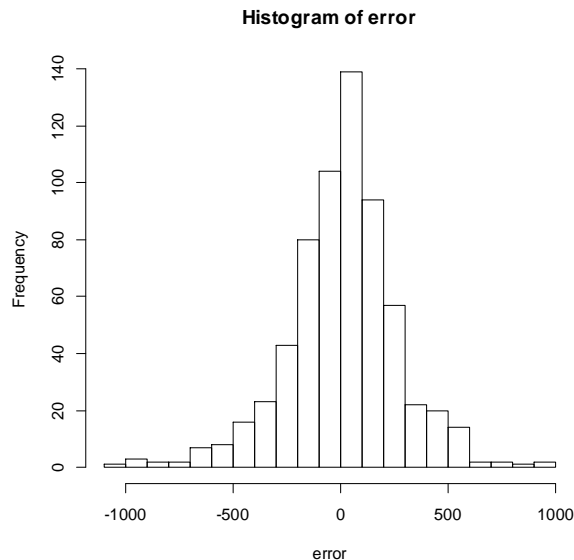


Imagen 21[4.4-10] Histograma de las discrepancias entre la regresión lineal y la relación real entre volúmenes y duraciones de los pulso asilados de agua fría de duchas

Observamos en la figura que la distribución de las discrepancias o errores tiene la forma de una campana con eje de simetría en torno de cero, lo cual no sugiere que la distribución de los dato pude ser descrita con una FDP Normal. Decidimos utilizar la FDP Normal para generar los patrones de errores con un conjunto de números aleatorios. Teniendo la regresión lineal y la serie de correcciones, podemos tener una aproximación más afín a las duraciones reales, solo hace falta sumar a cada duración la corrección de la FDP Normal, cómo se muestra en la ecuación 4.4-11, donde Y_i es la duración, X_i es el volumen, μ es el promedio, σ es la desviación estándar y x es un número aleatorio.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + fdp_{normal}(x_i, \mu, \sigma)$$

Ecuación 10 [4.4-11] Corrección de la regresión lineal con la FDP Normal

Los resultados del ajuste de las FDP Normal a las diferencias entre las duraciones reales y la regresión lineal para los usos finales se muestran en la tabla 4.4-5, donde vemos μ es el promedio y σ es la desviación estándar de los errores, β_0 es la ordenada al origen y β_1 es la pendiente de la regresión lineal de la nube de puntos que relaciona la duración con el volumen de los pulsos. Estos son los parámetros que utilizaremos en los modelos para generar las series de duraciones para los 5 usos finales.

		Parámetros de la corrección con la FDP Normal de la línea de tendencia de la relación entre el Volumen y la Duración				
		Cisternas	Grifos Fría	Grifos Caliente	Duchas Fría	Duchas Caliente
Ordenada al Origen	β_0	58.997	10.847	7.476	49.588	57.087
Pendiente	β_1	8.955	17.563	16.407	11.214	9.761
Promedio	μ	-2.443	0.000	0.000	0.000	0.000
Desviación Estándar	σ	88.852	31.219	22.378	112.608	116.168

Tabla 6 [4.4-5] Parámetros de la corrección con la FDP Normal de la línea de tendencia de la relación entre el Volumen y el Caudal de los usos finales

Un ejemplo del resultado de la regresión lineal corregida con la FDP Normal la presentamos en la grafica de la imagen 4.4-8, donde vemos la serie de rombos grises que representan las duraciones reales y la serie de cuadrados verdes que corresponde a las duraciones ficticias. Observamos que las dos series de datos no son iguales pero son similares. La serie de datos original corresponde a las duraciones y los volúmenes de los pulsos de agua fría consumida en duchas.

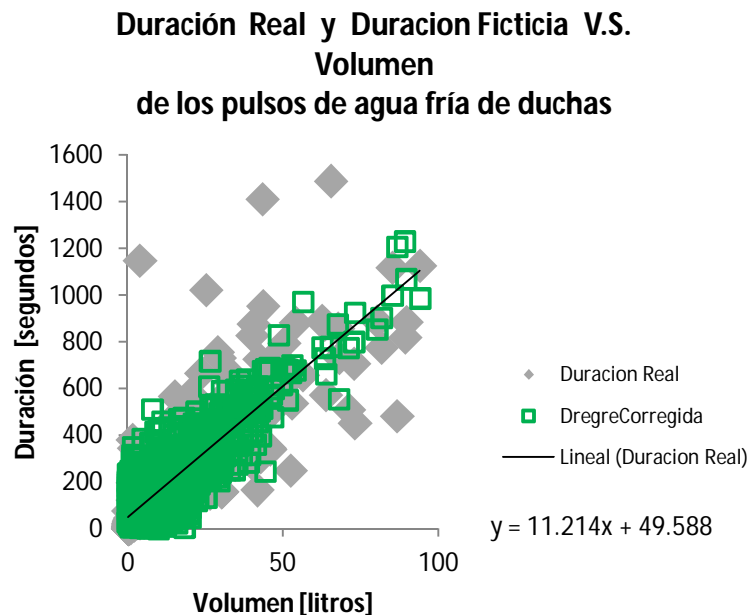
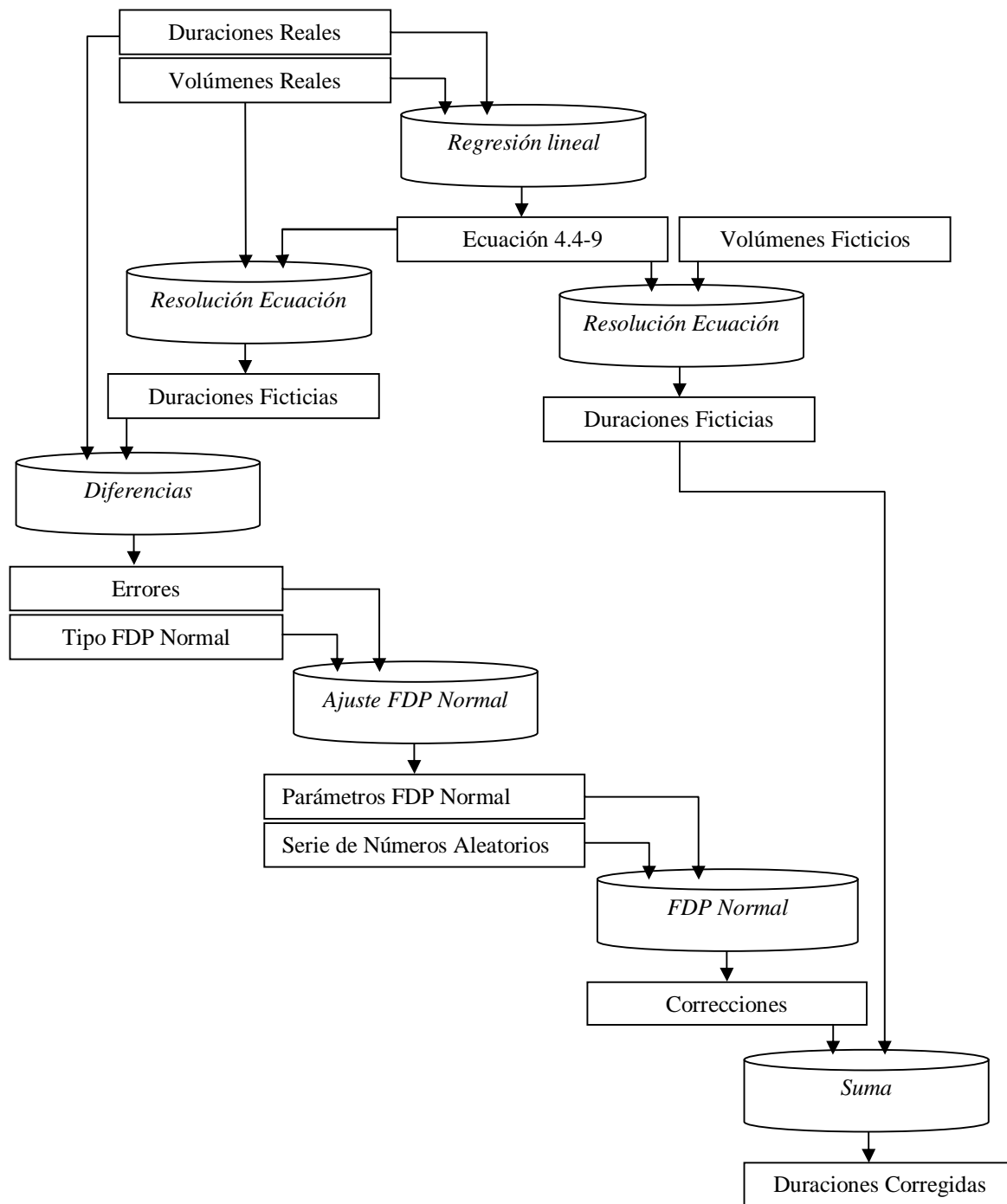


Imagen 22 [4.4-12] Ejemplo de la corrección con la FDP Normal de la duración ficticia obtenida con la regresión lineal de la relación entre el volumen y la duración

Es en la siguiente imagen que mostramos el esquema del proceso para la corrección de la relación lineal entre el volumen y el caudal con una FDP normal. Este proceso fue programado en Visual Basic Application for Excel 2007© y lo utilizamos para obtener las duraciones ficticias de los pulsos de los 5 usos finales.



Esquema 3 [4.4-13] Esquema de la corrección con la FDP Normal de la duración ficticia obtenida con la regresión lineal de la relación entre el volumen y la duración

Decidimos utilizar el método de la corrección con una FDP de la relación lineal previendo que se generen valores de caudales irreales al momento de asociar los volúmenes ficticios con las duraciones ficticias, tomando en cuenta que tienen magnitudes aleatorias.

Para dar un ejemplo, si creamos los pulsos ficticios asociando los volúmenes con duraciones que son dos variables con magnitud aleatoria, entonces a un pulso cualquiera, se le puede asignar un volumen muy grande y una duración muy pequeña, esto podría generar un caudal demasiado grande que pueden llegar a ser irreal, esto aplica también en el caso contrario, donde podríamos tener un volumen pequeño y una duración grande, el resultado sería un caudal demasiado pequeño. Con el método empleado en este modelo estocástico evitamos este problema, ya que como hemos dicho; asumimos una relación lineal entre el volumen y la duración de los pulsos. Un inconveniente de este método es que los conjuntos de duraciones ficticias y reales no se asemejan tanto en contraste con los resultados del método empleado para la obtención de volúmenes ficticios, esto lo podremos observar en las graficas de comprobación del ajuste que se presentan en el apartado 4.5 “Producción de los conjuntos de datos ficticios”.

4.4.3.3 Distribución de probabilidad acumulada por intervalos

La última variable de los pulsos que nos quedaba por modelar es la hora de ocurrencia de los eventos. Hasta el momento, hemos encontrado métodos matemáticos para modelar: el volumen de los pulsos, cuantas veces a lo largo de un día se presenta un pulso y la duración de cada evento. Nos hace falta encontrar ahora, un modelo que nos permita determinar la hora en la que ocurre cada evento. Sabiendo que la hora de utilización de un aparato es una variable estrictamente independiente; no podíamos obtener la hora en función de otras variables. Por otro lado el patrón de consumos de agua en las habitaciones de una hotel tiene una forma irregular a la cuál no se puede ajustar ninguna de las funciones de distribución de probabilidad que hemos citado anteriormente, cómo podemos ver en el histograma mostrado en la imagen 4.4-10, donde la distribución de los eventos a lo largo del día tiene dos crestas, una por la mañana al rededor de las 8 horas y otra a media noche. En el siguiente histograma se esboza la curva de modulación del consumo de agua en un hotel.

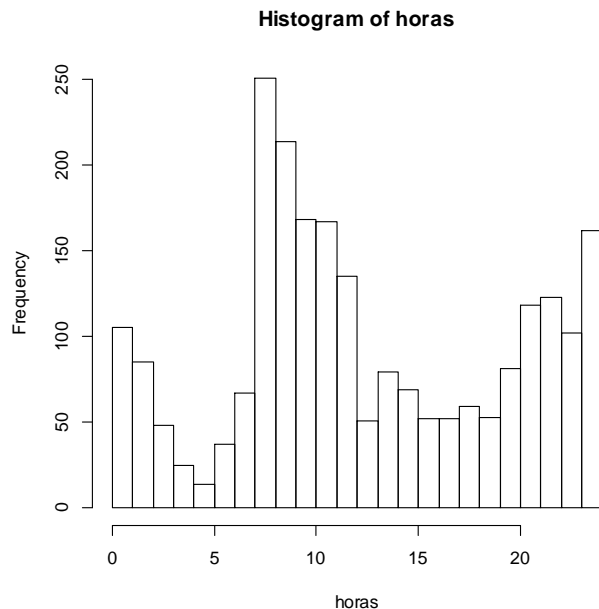


Imagen 23 [4.4-14] Histograma generado con R de la hora de utilización real de los grifos de agua fría

Entonces, para producir las horas de ocurrencia de los eventos ficticios, decidimos utilizar una distribución de probabilidad acumulada por intervalos, que consiste en calcular la probabilidad de ocurrencia de un evento para los distintos intervalos de tiempo en los que dividimos un día. Dicho de otra forma, este es un método numérico para obtener una función de distribución de probabilidad implícita con las probabilidades de los eventos que se encuentran entre intervalos de ocurrencia. Para explicar este proceso lo dividimos en dos etapas:

- Cálculo de los intervalos de probabilidad por intervalo de tiempo

Donde dividimos un día en un número de intervalos que consideremos adecuado, contamos el número de eventos que se presentan en cada intervalo de tiempo, calculamos la probabilidad de ocurrencia de un evento en cada intervalo de tiempo, obtenemos la probabilidad acumulada para cada intervalo de tiempo y obtenemos los intervalos de probabilidad acumulada por intervalos de tiempo. Para describir este proceso de otra manera, mostramos a continuación el código de programación que realiza este proceso en lenguaje de VBA para Excel. Los comentarios se presentan en color verde, las funciones lógicas están en color azul, la definición de variables en color gris y el resto del contenido del código se mostrará con letras negras.

MODELO ESTOCÁSTICO DE CONSUMO DE AGUA CALIENTE Y FRÍA EN UN HOTEL

En el código 4.4-4 podemos ver las etapas delimitadas por los comentarios en color verde, donde primero se crean los intervalos, después se cuenta el número de eventos en cada intervalo y se suma en los intervalos para crear un conteo acumulado y por último se calcula la probabilidad de cada intervalo dividiendo el conteo acumulado entre el número total de conteos. Con la subrutina C2HORA obtenemos una función de distribución probabilidad implícita por intervalos.

```
Sub C2HORA()  
'conteo de eventos a lo largo del día  
'entre un intervalo de hora inicial= a y  
final=b,  
'el intervalo lo define el usuario  
  
Dim m As Integer  
Dim menor As Double  
Dim consumo As Double  
Dim hora As Double  
Dim suma As Double  
Dim prob As Double  
Dim probac As Double  
Dim paso As Double  
Dim pasosum As Double  
Dim i As Integer  
Dim a As Double  
Dim b As Double  
Dim c As Integer  
Dim X As Integer  
Dim cont As Double  
  
'---Inicio bucle para la creación de  
intervalos  
m = 2  
paso = 1 / 4 'tamaño del intervalo  
pasosum = 0  
Do While pasosum + paso < 24  
    Cells(m + 1, 9) = pasosum  
    Cells(m + 1, 10) = pasosum + paso  
    m = m + 1  
    pasosum = pasosum + paso  
Loop  
'---Fin bucle para la creación de intervalos  
  
'---Inicio conteo de eventos  
m = 2  
menor = Cells(m + 1, 10)  
Do While menor > 0  
    menor = Cells(m + 1, 10)  
    m = m + 1  
    i = 1  
    consumo = Cells(i + 1, 1)  
    Do While consumo > 0  
        consumo = Cells(i + 1, 1)  
        cont = Abs(Cells(i + 1, 2)) - 1  
        i = i + 1  
  
        hora = Cells(i, 5)  
        a = Cells(m, 9)  
        b = Cells(m, 10)  
  
        If a < hora Then  
            If hora < b Then  
                c = Cells(m, 11) + 1  
                Cells(m, 11) = c + cont  
            End If  
        End If  
        c = 0  
    Loop  
Loop  
'---Fin conteo de eventos  
  
'---Inicio bucle de suma de los conteos  
m = 2  
menor = Cells(m + 1, 10)  
suma = 0  
Do While menor > 0  
    menor = Cells(m + 1, 10)  
    m = m + 1  
    suma = suma + Cells(m, 11)  
Loop  
'---Fin bucle de suma de los conteos  
  
'---Inicio bucle de la probabilidad  
acumulada  
prob = 0  
probac = 0  
m = 2  
menor = Cells(m + 1, 10)  
Do While menor > 0  
    menor = Cells(m + 1, 10)  
    m = m + 1  
  
    cont = Cells(m, 11)  
    prob = cont / suma  
  
    probac = probac + prob  
    Cells(m + 1, 12) = probac  
    Cells(m, 13) = probac  
Loop  
'---Fin bucle de la probabilidad acumulada  
End Sub
```

Código 4 [4.4-4] Programación en VBA para Excel®, para la obtención de la probabilidad acumulada de ocurrencia de los eventos a lo largo del día por intervalos

- Determinación de la hora por interpolación de números aleatorios dentro de los intervalos de probabilidad acumulada.

Tomamos una serie de números aleatorios que varían entre 0 y 1. Cada número aleatorio está dentro de un intervalo de probabilidad, al intervalo de probabilidad le corresponde un intervalo de tiempo, interpolamos entonces el número aleatorio dentro del intervalo de probabilidad para obtener la hora. El siguiente paso es generar una serie de números aleatorios entre 0 y 1, cómo podemos ver en la subrutina A2HORA. Cada número aleatorio se encuentra dentro de un intervalo de probabilidad acumulada, la subrutina D4InterpolHORAS asigna un intervalo de horas y un intervalo de probabilidad acumulada dependiendo del valor del número aleatorio, por último se interpola el número aleatorio dentro del intervalo de probabilidad acumulada y el intervalo de hora para obtener la hora.

```

Sub A2HORA()
'genera números una lista de números
aleatorios de longitud definida con la
variable "eventos"
Dim limsup As Double
Dim liminf As Double
Dim cont As Double
Dim rdom As Double
Dim i As Integer
Dim eventos As Integer
i = 2
eventos = 3000
Randomize (Rnd(3))
Do While i < eventos
    rdom = 1 * Rnd()
    Cells(i + 1, 14).Value = rdom
    i = i + 1
Loop
End Sub

Sub D4InterpolHORAS()
'obtiene las horas interpolado un numero
aleatorio, el numero aleatorio está dentro
de un rango de probabilidad acumulada

Dim m As Integer
Dim j As Integer
Dim i As Integer
Dim Rnd As Double
Dim hora As Double
Dim horaA As Double
Dim horaB As Double
Dim PacuA As Double
Dim PacuB As Double

m = 2
Rnd = Cells(m + 1, 14)
i = 2
Do While Rnd > 0
    Rnd = Cells(m + 1, 14)
    m = m + 1
    j = 2
    horaB = Cells(j + 1, 10)
    Do While horaB > 0
        horaA = Cells(j + 1, 9)
        horaB = Cells(j + 1, 10)
        PacuA = Cells(j + 1, 12)
        PacuB = Cells(j + 1, 13)
        j = j + 1
    If Rnd > PacuA Then
        If Rnd < PacuB Then
            Cells(i + 1, 15) = horaA
            Cells(i + 1, 16) = horaB
            Cells(i + 1, 17) = PacuA
            Cells(i + 1, 18) = PacuB
            'interpolación para obtener la hora
            hora = ((horaB - horaA) /
                (PacuB - PacuA)) * (Rnd -
                PacuA) + horaA
            Cells(i + 1, 19) = hora
            i = i + 1
        End If
    End If
Loop
End Sub

```

Código 5 [4.4-5] Programación en VBA para Excel© para la creación de una serie de números aleatorios que varían entre 0 y 1, e interpolación del número aleatorios dentro de los intervalos de probabilidad acumulada de ocurrencia de los eventos en un día para la obtención de la hora del evento

4.5 Producción de los conjuntos de datos ficticios

Por el momento hemos definido cómo caracterizar los distintos patrones del conjunto de pulsos, hemos distinguido como variables el volumen, las duraciones, hora de ocurrencia y el número de eventos por día para cada pulso, aparte definimos 5 usos finales dependiendo del aparato y la temperatura del agua. El siguiente paso es crear series de patrones que caractericen al conjunto artificial de pulsos con las FDP ajustadas y conglomerar estas series para generar un conjunto de pulsos ficticio. Ya hemos definido qué es y cómo se realiza el ajuste de una FDP en el apartado “4.4.1 Utilización de las funciones de distribución de probabilidad” y ahora presentamos los últimos pasos del modelo estocástico que consiste en la producción y ensamblaje de los datos ficticios para cada uso final.

Una vez realizado el ajuste hace falta comprobar el resultado que denominamos de manera formal como comprobación de bondad del ajuste de la FDP. A grandes rasgos esto es solo una comparación en forma de graficas de la serie de datos reales y la serie de datos ficticia, visualmente determinamos si el ajuste es adecuado.

Un método de comprobación de bondad del ajuste es la grafica cuantil-cuantil, que consiste en comparar cada dato de la serie real con la serie ficticia, para esto hace falta ordenar los valores de menor a mayor de la serie de datos reales y la serie de datos ficticia, el último paso es graficar ficticio versus real y una línea de 45 grados, si los datos reales se parecen a los ficticios, la dispersión de puntos tendera a parecer a la línea de 45 grados. Otro tipo de grafica para comprobar la superposición de la curva de función de densidad de probabilidades de la FDP superpuesta con el histograma de probabilidades de la serie real, si el ajuste es bueno la curva de densidad delinearà al histograma de manera similar a las imágenes 4.4-3, -4 y -5 presentadas en el apartado “4.4.3.1 Función de distribución de probabilidad Gamma”.

En los siguientes apartados mostramos la bondad de los ajustes de patrón de volumen, duración, hora de ocurrencia y número de eventos por día, para el volumen consumido por grifos de agua fría, grifos de agua caliente, duchas de agua fría, duchas de agua caliente y cisternas.

4.5.1 Comprobación del Ajuste de la FDP Gamma a los patrones de Volumen

Para la creación de los conjuntos de volúmenes para los distintos usos finales utilizamos las FDP Gamma con los valores de escala y forma que podemos consultar en la tabla 4.4-3 “Ratio, factor de escala y factor de forma para los patrones de volúmenes de pulsos únicos consumidos para cada uso final”. Recapitulando, se generaron las series de datos con la función de distribución de probabilidad Gamma de Microsoft Office Excel 2007©, específicamente con el código de programación 4.5-1, donde Rnd es un numero aleatorio entre 0 y 1, alfa es el factor de forma y beta es el factor de escala. Para crear una serie de volúmenes utilizamos una serie de números aleatorios, con cada numero aleatorio obtuvimos una variable, en la ecuación 4.5.1 vemos cómo obtenemos el vector que contiene los valores de los volúmenes \hat{V} con un vector de números aleatorios \widehat{Rnd} y la FDP Gamma.

$$\hat{V} = fdp_{Gamma}(\widehat{Rnd}, \alpha, \beta)$$

Ecuación 11 [4.5-1] Ecuación de la FDP Gamma utilizada para la obtención de los volúmenes

`Vi = Application.WorksheetFunction.GammaInv(Rnd, alfa, beta)`

Ecuación 12 [4.5-1] Programación en VBA para Excel© de la función de distribución de probabilidad Gamma para generar una dato con un una probabilidad

A continuación mostraremos las graficas de comprobación de bondad del ajuste de la función de distribución de probabilidad Gamma para la obtención de los volúmenes de los distintos usos finales. Se presentan la grafica cuantil – cuantil y el histograma de probabilidades superpuesta a la curva de la función de distribución de probabilidad Gamma. Con estas gráficas comprobamos que el ajuste es adecuado y entonces concluimos que producimos una serie de volúmenes ficticios que se asemejan a los volúmenes consumidos en las habitaciones de un hotel.

4.5.1.1 Bondad del ajuste de volumen de Grifos agua fría

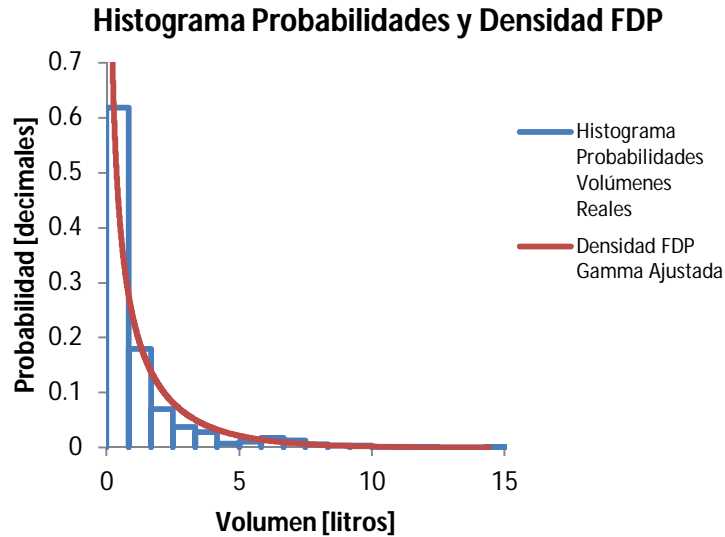


Imagen 24 [4.5.1] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos por grifos de agua fría con el histograma de probabilidades

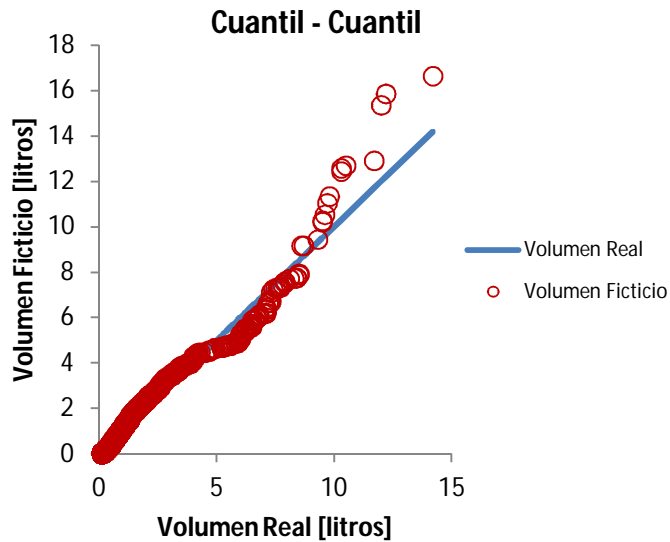


Imagen 25 [4.5.2] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos por grifos de agua fría

4.5.1.2 Bondad del ajuste de volumen de Grifos agua caliente

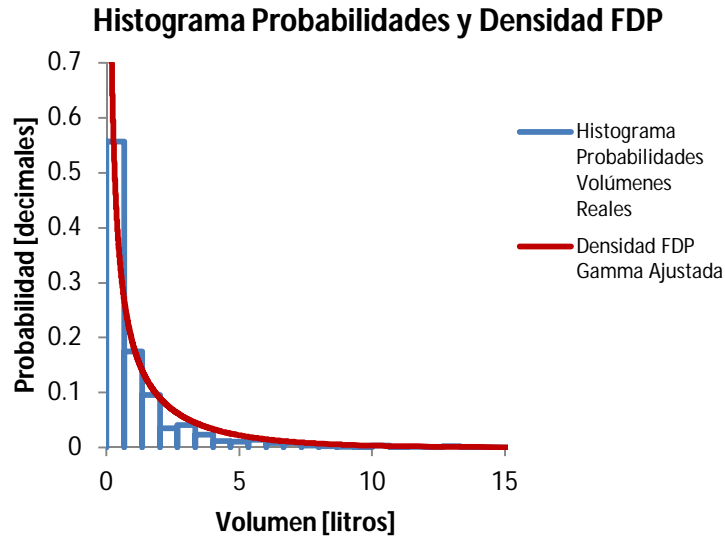


Imagen 26 [4.5.3] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos por grifos de agua caliente con el histograma de probabilidades

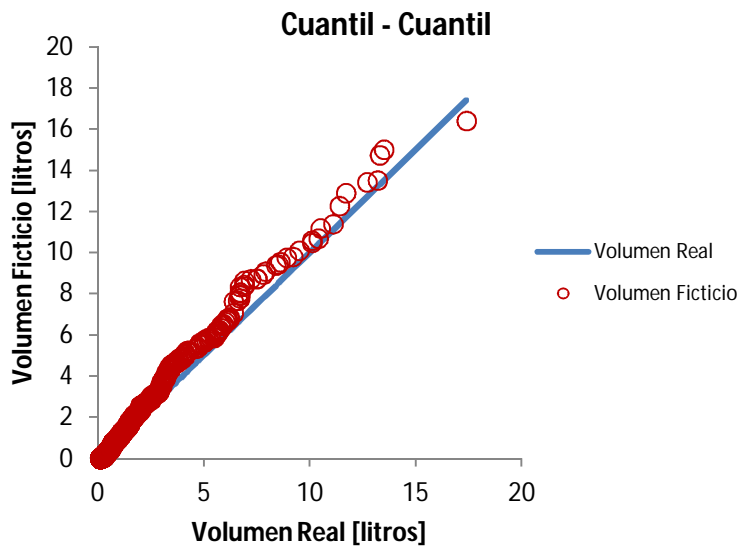


Imagen 27 [4.5.4] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos por grifos de agua caliente

4.5.1.3 Bondad del ajuste de volumen de Duchas agua fría

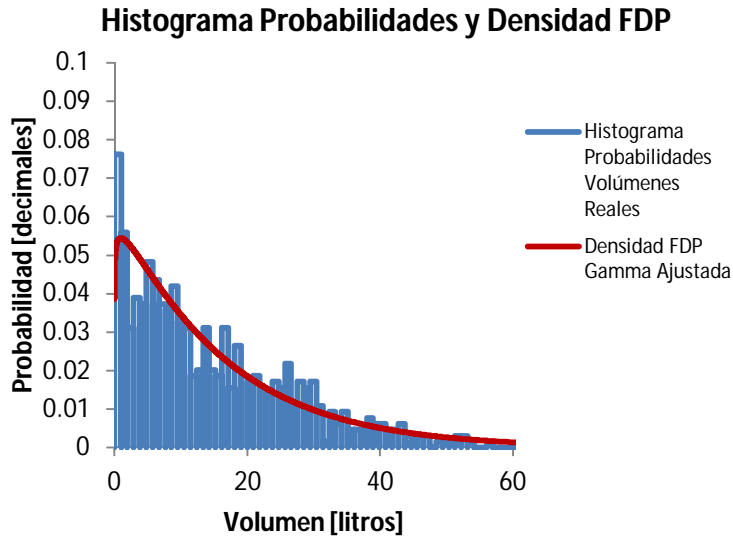


Imagen 28 [4.5.5] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos por duchas de agua fría con el histograma de probabilidades

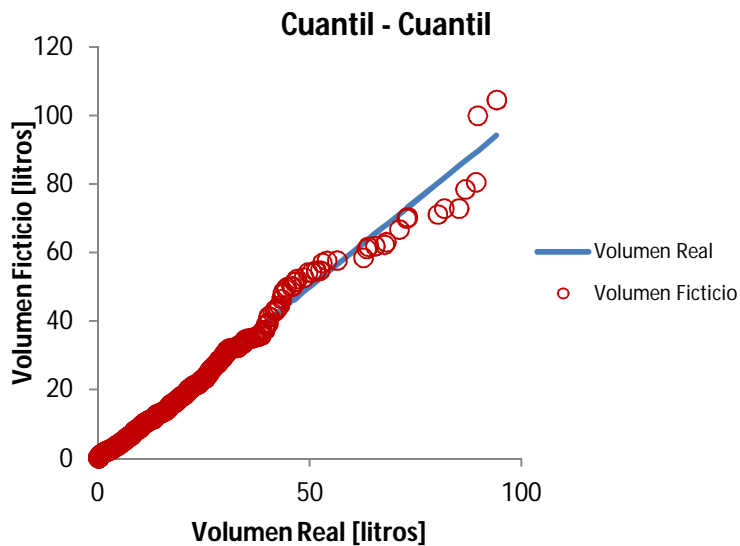


Imagen 29 [4.5.6] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos por duchas de agua fría

4.5.1.4 Bondad del ajuste de volumen de Duchas de agua caliente

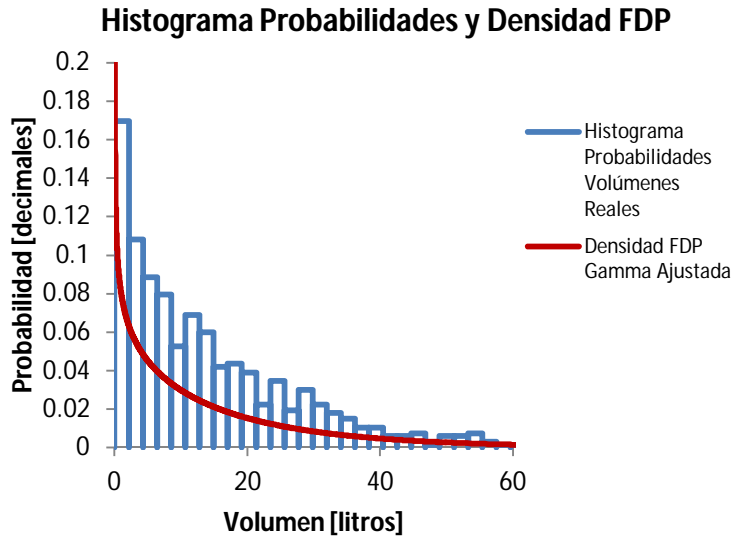


Imagen 30 [4.5.7] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos por duchas de agua caliente con el histograma de probabilidades

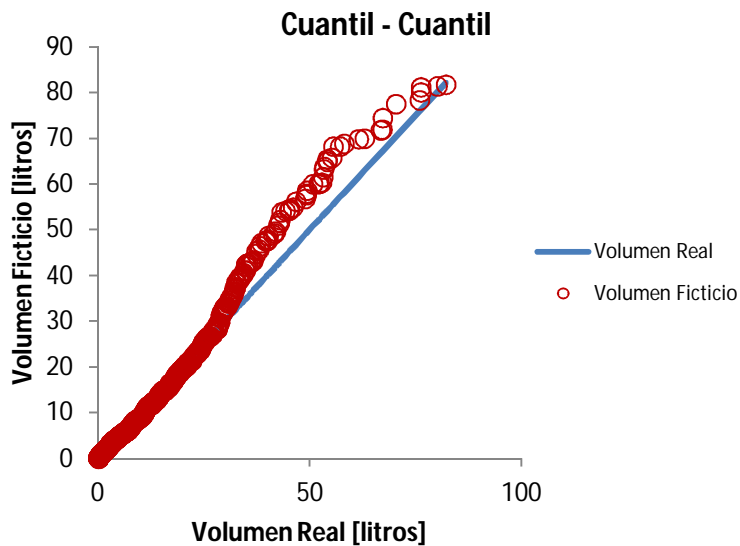


Imagen 31 [4.5.8] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos duchas de agua caliente

4.5.1.5 Bondad del ajuste de volumen de Cisternas

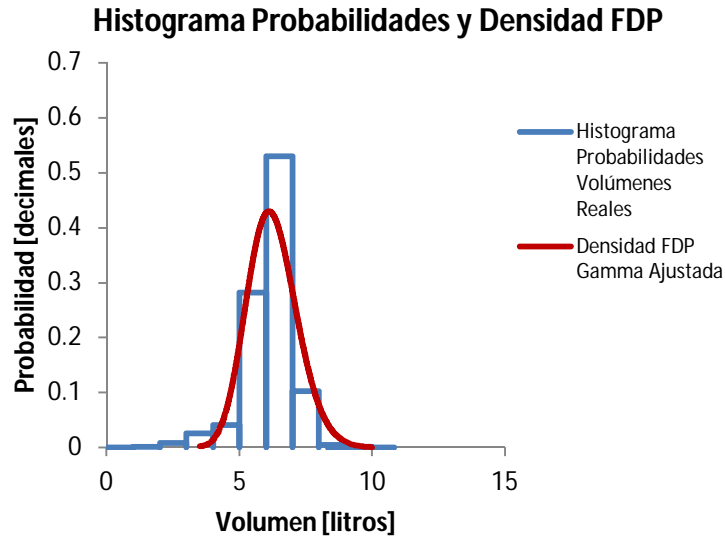


Imagen 32 [4.5.9] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos por cisternas con el histograma de probabilidades

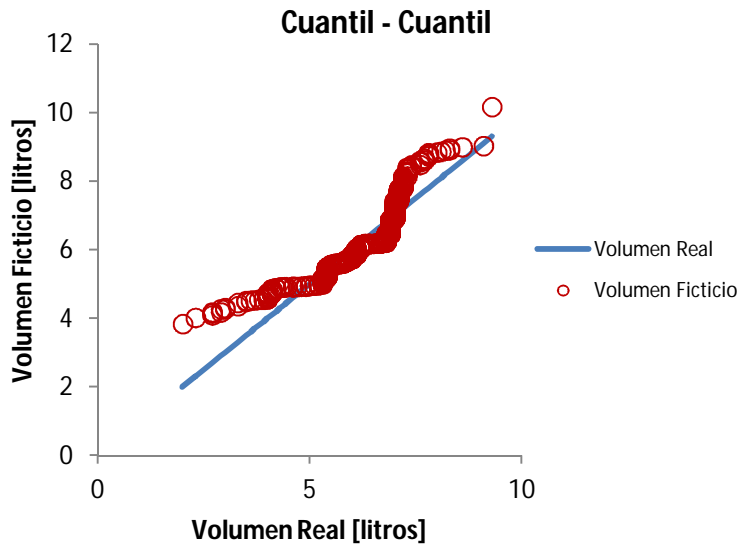


Imagen 33 [4.5.10] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos por cisternas

4.5.2 Comprobación del Ajuste de la FDP Gamma al número de eventos por día

De la misma manera que en el apartado anterior, obtuvimos la serie de número de eventos por uso final con las FDP Gamma, los valores de escala y forma ya han sido calculados y pueden ser consultados en la tabla 4.4-4 “Ratio, factor de escala y forma de los patrones de conteo del número de eventos por día para cada uso final”. También se generaron las series de datos con la función de distribución de probabilidad Gamma de Microsoft Office Excel 2007© con el código de programación 4.5-2 se muestra abajo, donde Rnd es un número aleatorio entre 0 y 1, alfa es el factor de forma y beta es el factor de escala. Para saber el número de veces que sería utilizado un aparato de baño creamos una serie de número de eventos por día para cada uso final, el procedimiento es el mismo que en apartado anterior, salvo por una diferencia; el resultado de la FDP es redondeado al entero superior. La ecuación 4.5.2 muestra cómo obtenemos el vector que el número de eventos por día \hat{C} con la FDP Gamma y un vector de números aleatorios \widehat{Rnd} .

$$\hat{C} = fdp_{Gamma}(\widehat{Rnd}, \alpha, \beta)$$

Ecuación 13 [4.5-1] Ecuación de la FDP Gamma utilizada para el número de eventos por día

```
Ci = Application.WorksheetFunction.GammaInv(Rnd, alfa, beta)
```

Código 6 [4.5-1] Programación en VBA para Excel© de la función de distribución de probabilidad Gamma para generar una dato con una probabilidad

Presentamos las graficas de comprobación de bondad del ajuste de la función de distribución de probabilidad Gamma para la obtención de los volúmenes de los distintos usos finales en los aparatos sanitarios siguientes. Mostramos igualmente la grafica cuantil – cuantil y el histograma de probabilidades superpuesta a la curva de la función de distribución de probabilidad Gamma para cada uso final.

4.5.2.1 Bondad del ajuste de número de eventos por día de Grifos agua fría

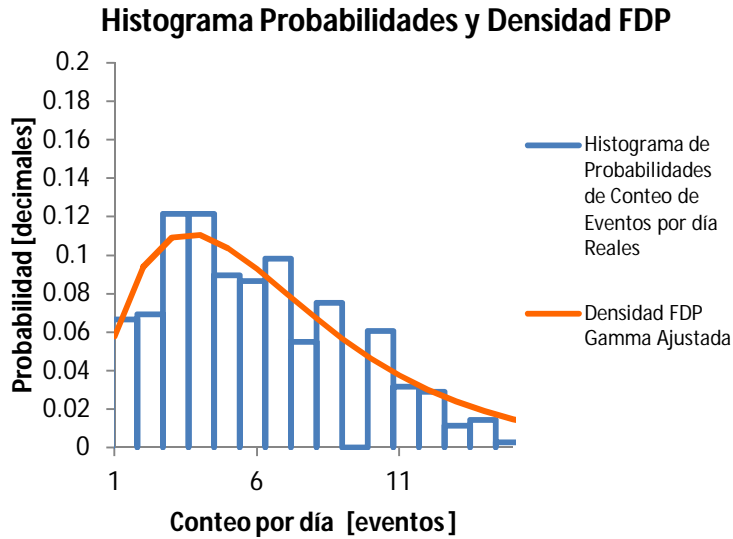


Imagen 34 [4.5.11] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma al conteo del número de eventos por día de grifos de agua fría con el histograma de probabilidades

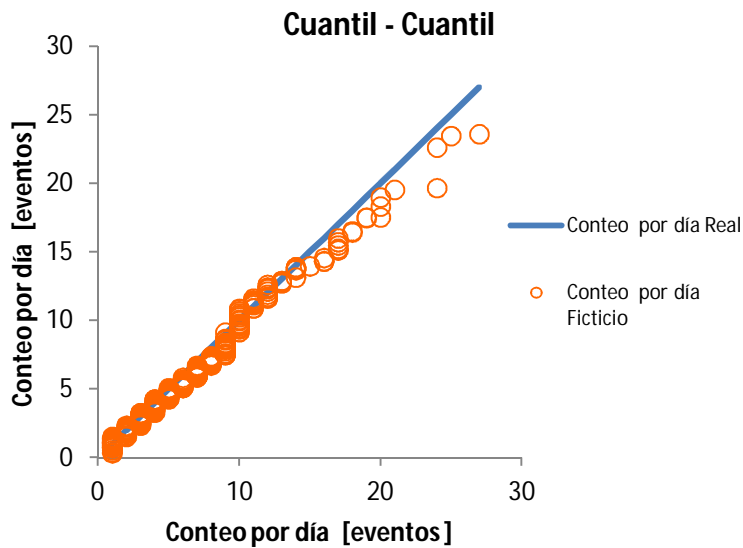


Imagen 35 [4.5.12] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie del número de eventos por día de grifos de agua fría

4.5.2.2 Bondad del ajuste de número de eventos por día de Grifos agua caliente

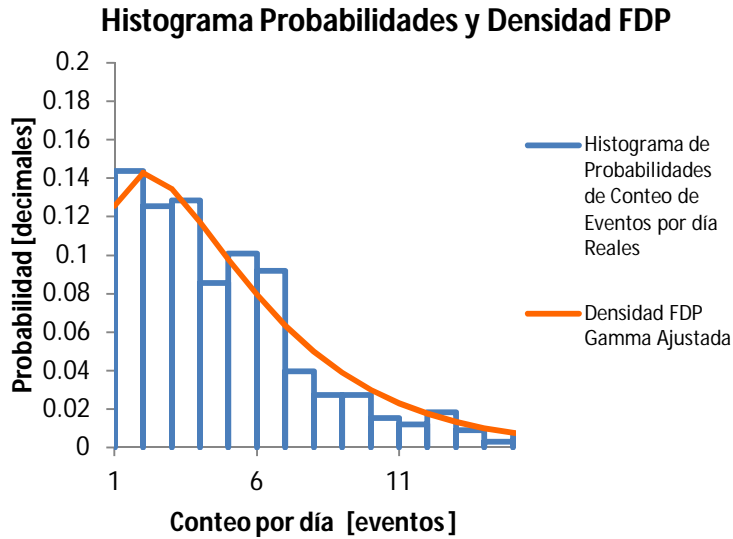


Imagen 36 [4.5.13] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma al conteo del número de eventos por día de grifos de agua caliente con el histograma de probabilidades

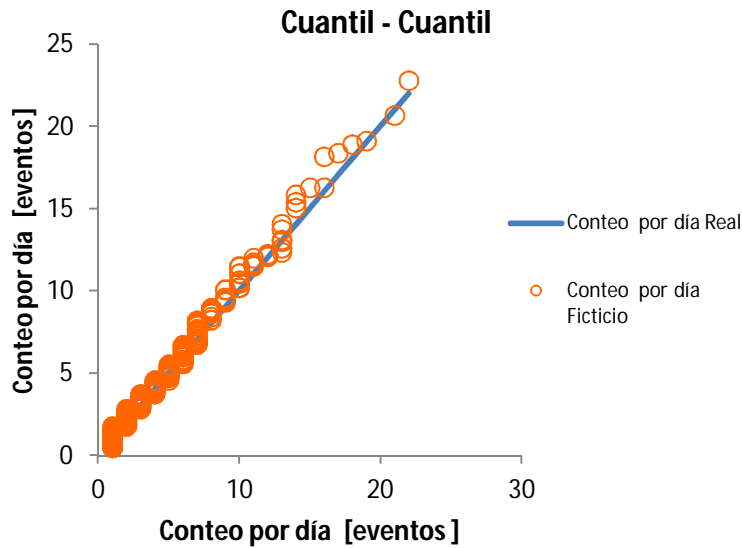


Imagen 37 [4.5.14] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie del número de eventos por día de grifos de agua caliente

4.5.2.3 Bondad del ajuste de número de eventos por día de Duchas agua fría

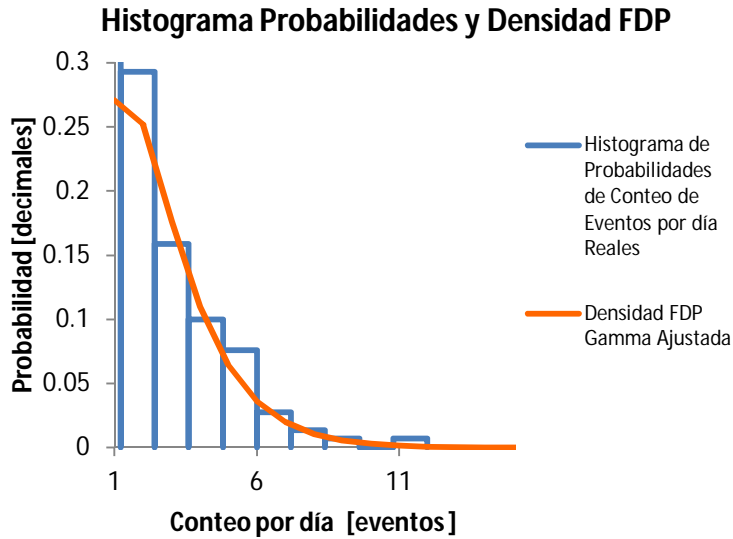


Imagen 38 [4.5.15] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma al conteo del número de eventos por día de duchas de agua fría con el histograma de probabilidades

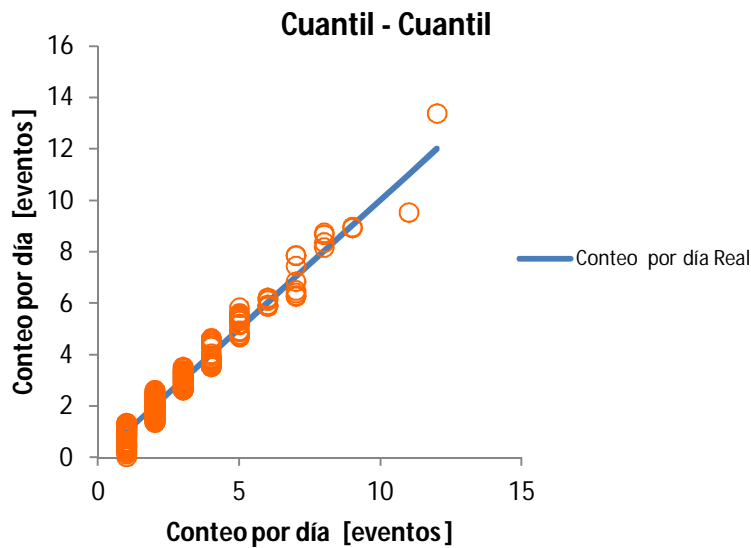


Imagen 39 [4.5.16] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie del número de eventos por día de duchas de agua fría

4.5.2.4 Bondad del ajuste número de eventos por día de Duchas agua caliente

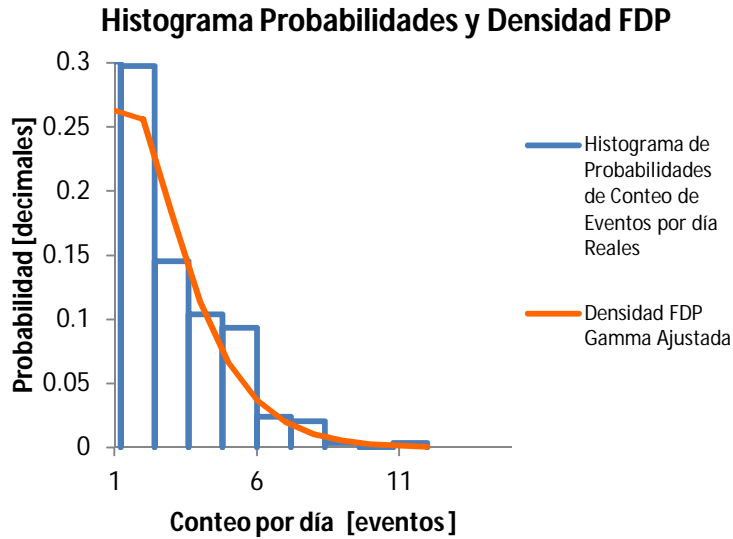


Imagen 40 [4.5.17] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma al conteo del número de eventos por día de duchas de agua caliente con el histograma de probabilidades

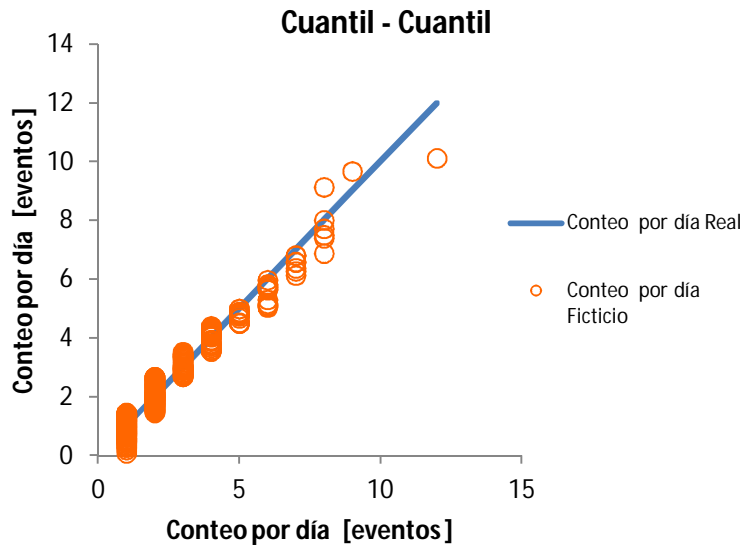


Imagen 41 [4.5.18] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie del número de eventos por día de duchas de agua caliente

4.5.2.5 Bondad del ajuste de número de eventos por día de Cisternas

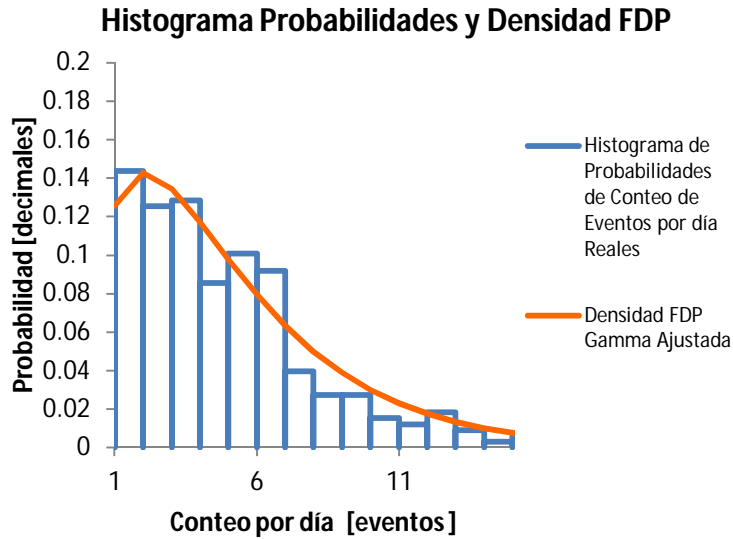


Imagen 42 [4.5.19] Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma al conteo del número de eventos por día de cisternas con el histograma de probabilidades

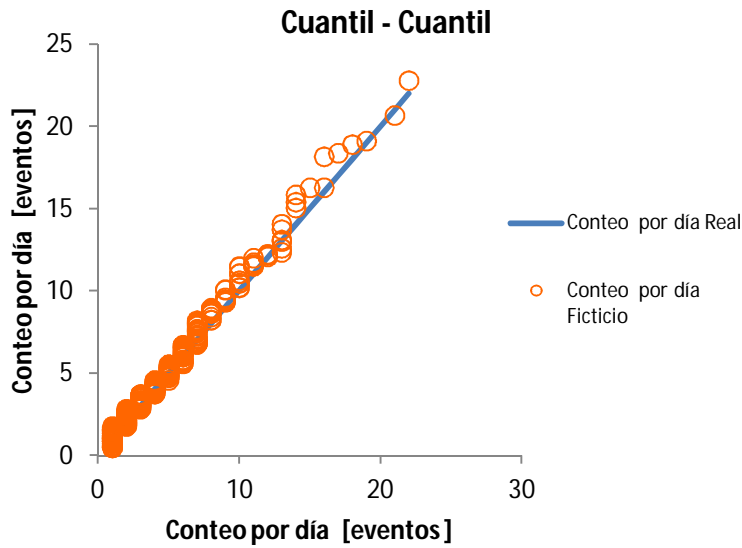


Imagen 43 [4.5.20] Comprobación cuantil-cuantil de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie del número de eventos por día de cisternas

4.5.3 Comprobación del Ajuste de relación lineal entre el volumen y la duración de los pulsos corregida con la función de distribución de probabilidad Normal

Ya hemos definido la serie de pasos necesarios para obtener la duración de los pulsos ficticios con el volumen en el apartado 4.4.3.2 “Relación lineal corregida con la función de distribución de probabilidad Normal”. Podemos constatar que en este procedimiento intervienen muchos pasos, esto aumenta la inexactitud del ajuste y es por esta razón que el conjunto de duraciones ficticias no se parece tanto a la serie de duraciones reales. Las dos series de duraciones reales y ficticias conservan los mismos órdenes de magnitud, pero vemos en las graficas cuantil- cuantil que se muestran a continuación que método utilizado para reproducir conjuntos de volúmenes o número de eventos por día es mejor que el método utilizado para las duraciones. En las siguientes graficas cuantil – cuantil se muestran tres series, una es la línea de 45 grados en azul cómo en las otras grafica, la comparación de las duraciones reales con las duraciones ficticias corregidas representadas con círculos de color verde y la comparación entre las duraciones reales y las obtenidas con la relación lineal representadas por círculos más pequeños y de color gris. La comparación de las duraciones corregidas y sin corregir nos da una idea del resultado de la corrección.

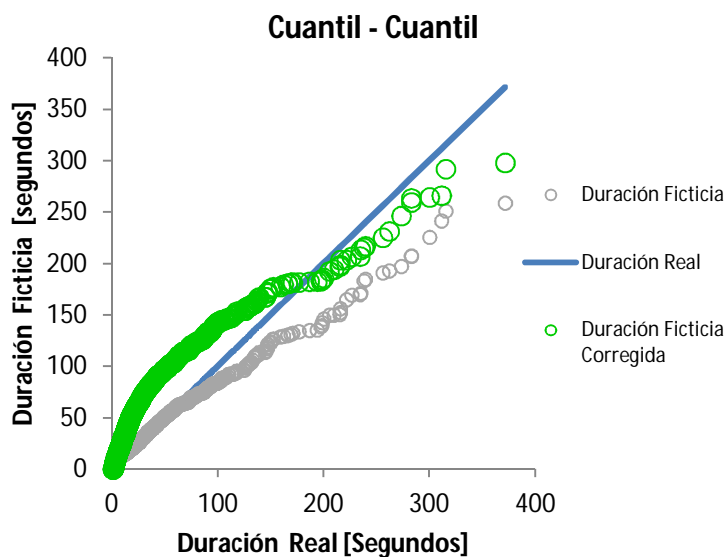


Imagen 44 [4.5.21] Comprobación cuantil-cuantil del ajuste de relación lineal entre el volumen y la duración de los pulsos corregida con la FDP Normal para los grifos de agua fría

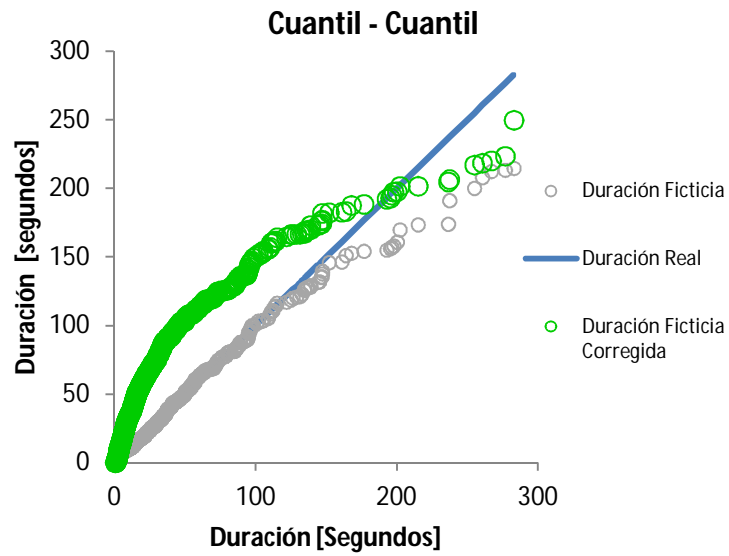


Imagen 45 [4.5.22] Comprobación cuantil-cuantil del ajuste de relación lineal entre el volumen y la duración de los pulsos corregida con la FDP Normal para los grifos de agua caliente

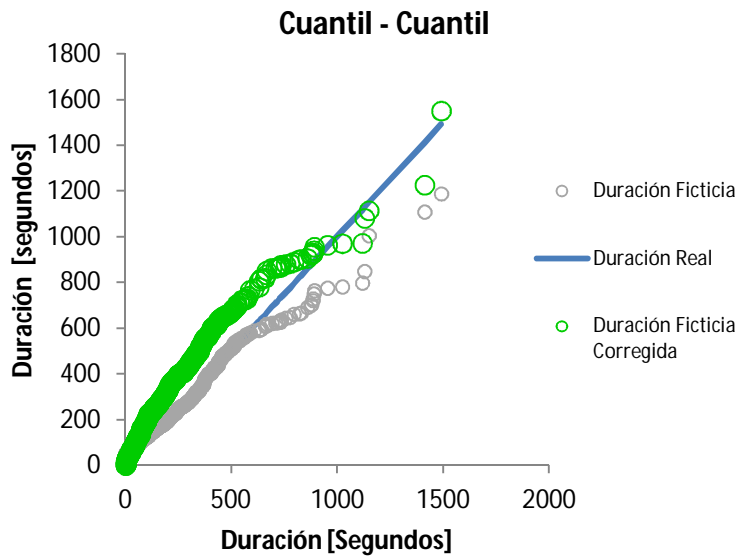


Imagen 46 [4.5.23] Comprobación cuantil-cuantil del ajuste de relación lineal entre el volumen y la duración de los pulsos corregida con la FDP Normal para las duchas de agua fría

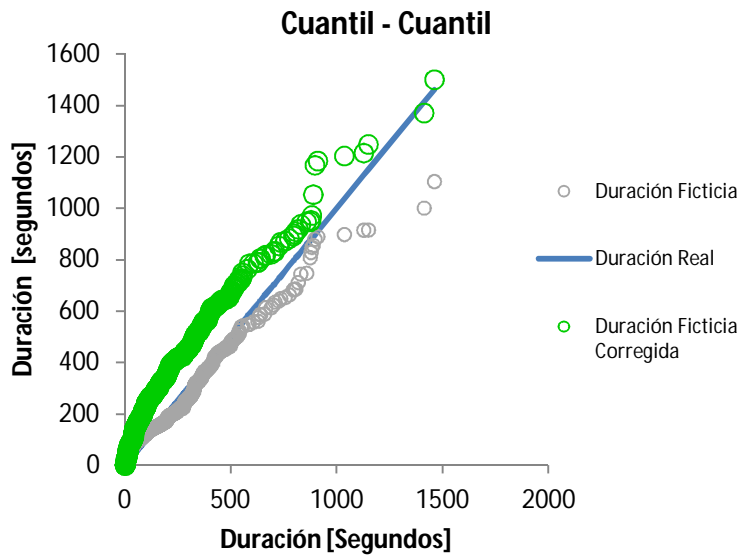


Imagen 47 [4.5.24] Comprobación cuantil-cuantil del ajuste de relación lineal entre el volumen y la duración de los pulsos corregida con la FDP Normal para las duchas de agua caliente

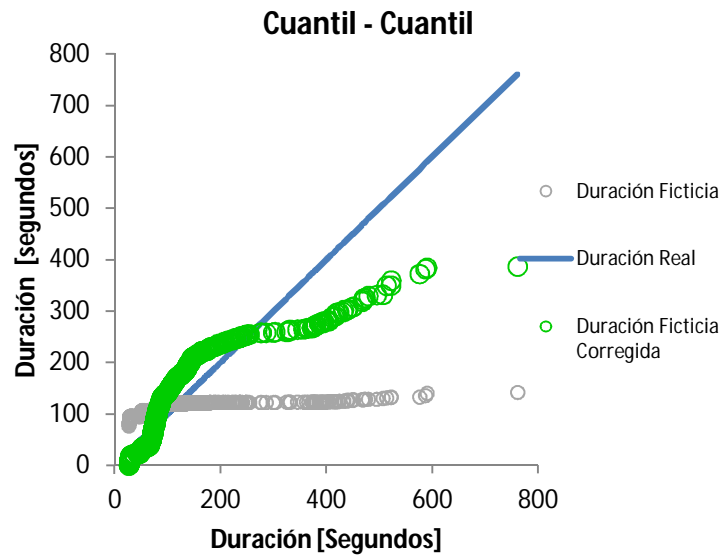


Imagen 48 [4.5.25] Comprobación cuantil-cuantil del ajuste de relación lineal entre el volumen y la duración de los pulsos corregida con la FDP Normal para las cisternas

4.5.4 Comprobación la obtención de la hora con distribución de probabilidad acumulada por intervalos

Recapitulando, generamos el conjunto de las horas de ocurrencia de los eventos ficticios con distribución de probabilidad acumulada por intervalos, este proceso fue descrito en el apartado 4.4.3.3 “Distribución de probabilidad acumulada por intervalos”. En resumen, este método utiliza la serie de datos originales para hacer una función de distribución de probabilidad, es por esta razón que el conjunto de horas reales es idéntico al conjunto de horas ficticio, esto lo veremos gráficamente en las comprobaciones cuantil-cuantil donde todos los datos ficticios están sobre la línea de 45 grados. Con esta serie de graficas comprobamos que el ajuste es correcto.

Nos podemos preguntar ¿por qué no utilizamos este método para obtener los otros conjuntos de parámetros? Este parece ser el mejor método para reproducir series de datos ficticios, pero si recordamos el objetivo del modelo, sabremos que nos interesa crear series de datos similares y no iguales. La variabilidad de los otros métodos nos permite obtener un conjunto de pulsos ficticios que se asemejan lo suficiente a los reales, estas diferencias permiten simular la variabilidad que existe en la utilización real de los aparatos sanitarios, es por esta razón que no buscamos reproducir exactamente los mismos datos.

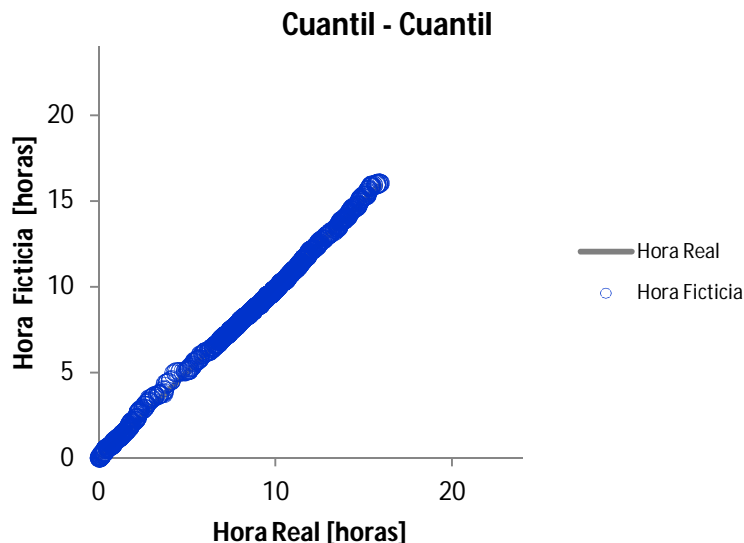


Imagen 49 [4.5.26] Comprobación cuantil-cuantil de la obtención de la hora con distribución de probabilidad acumulada por intervalos para grifos de agua fría

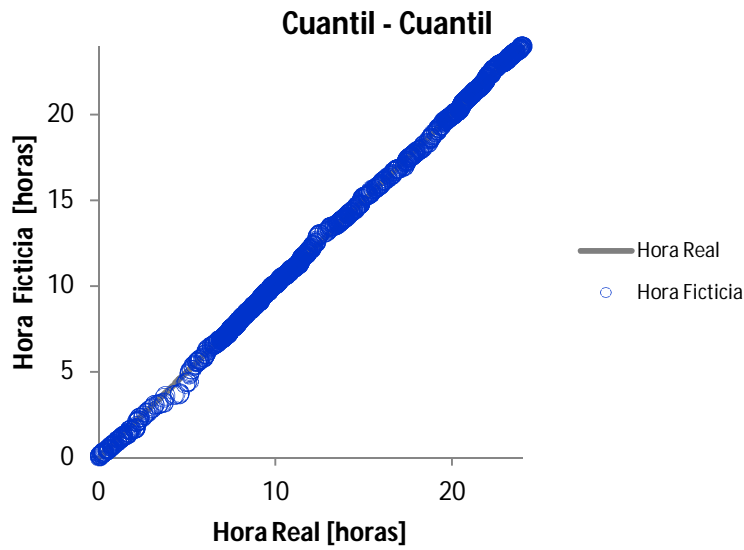


Imagen 50 [4.5.27] Comprobación cuantil-cuantil de la obtención de la hora con distribución de probabilidad acumulada por intervalos para grifos de agua caliente

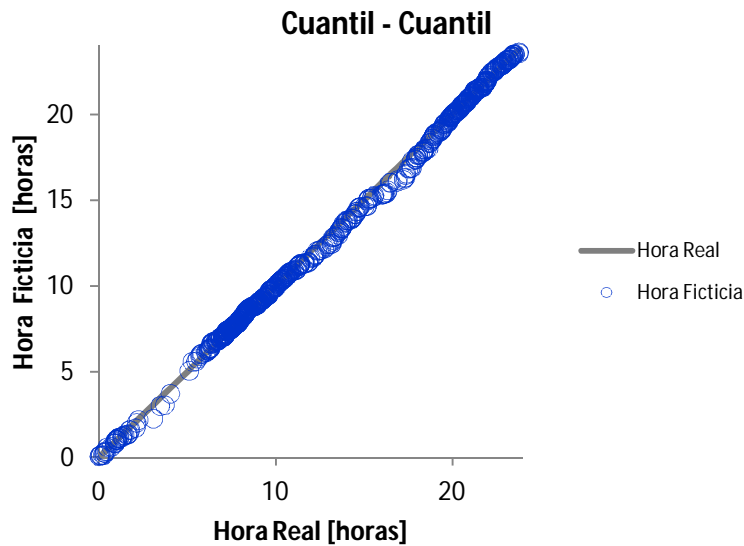


Imagen 51 [4.5.28] Comprobación cuantil-cuantil de la obtención de la hora con distribución de probabilidad acumulada por intervalos para duchas de agua fría

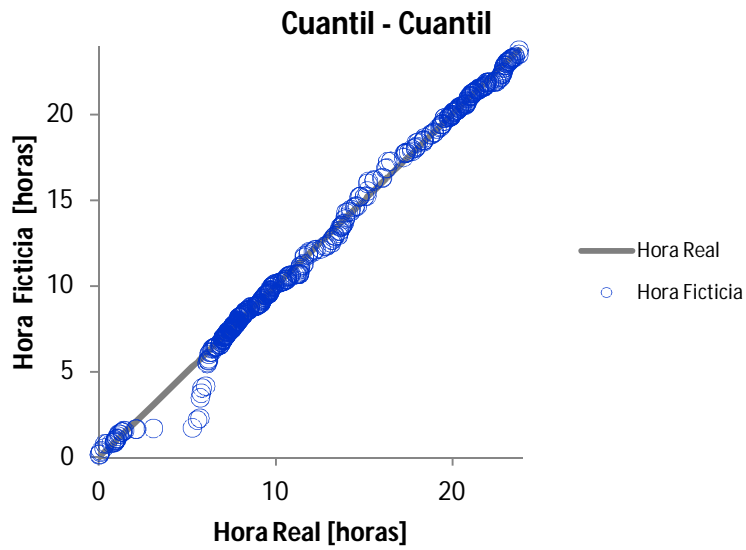


Imagen 52 [4.5.29] Comprobación cuantil-cuantil de la obtención de la hora con distribución de probabilidad acumulada por intervalos para duchas de agua caliente

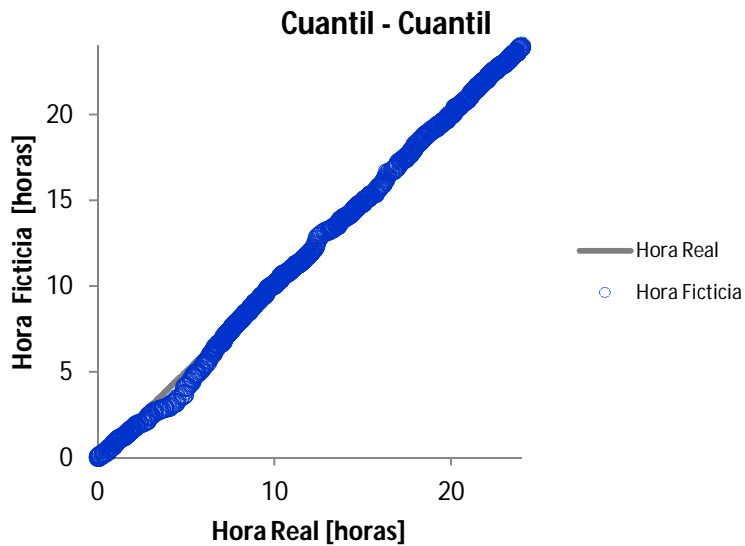


Imagen 53 [4.5.30] Comprobación cuantil-cuantil de la obtención de la hora con distribución de probabilidad acumulada por intervalos para cisternas

4.6 Ensamblaje de los conjuntos de datos ficticios

Entendemos cómo ensamblaje al acto de unir distintas piezas para formar un objeto, análogamente, esto es lo que hacemos con los distintos patrones ficticios que hemos obtenido con las distintas funciones de distribución de probabilidad, de esta forma obtenemos un conjunto de pulsos artificiales que tendrá las mismas variables que los pulsos reales. Cómo hemos mencionado, los patrones de cada variable están en forma de vectores, el ensamblaje consiste entonces en asociar a cada valor de volumen una duración, un tiempo de ocurrencia y el uso final. Con los distintos vectores formamos una matriz que contiene la información de los pulsos, la matriz M_p tiene tres columnas para las variables de tiempo, volumen y duración, más otras 5 columnas para los usos finales, con las últimas 5 columnas identificamos a qué uso final corresponde el pulso ficticio. El número de filas “ n ” depende del número de pulsos que queramos representar.

A continuación presentamos cómo es generada la matriz M_p con los distintos vectores, donde t_i es el valor del tiempo, v_i el valor del volumen y d_i es la duración. Aparte la matriz contiene los valores identificadores de usos finales que toman valor de 1 cuando el pulso corresponde a un uso final específico y 0 cuando el pulso no corresponde al uso final representado por esta variable, no se crean matrices de usos únicos porque los valores se asignan al momento de crear la matriz, los usos finales son gf_i para los grifos de agua fría, gc_i para los grifos de agua caliente, df_i para las duchas de agua fría, dc_i para las duchas de agua caliente y c_i para las cisternas. La cantidad de datos n delimita el tamaño de la matriz donde tenemos 8 columnas y n filas, entonces tenemos la matriz $M_{p(8 \times n)}$, n depende de la variable tiempo. El tamaño de los vectores es más grande que el número de días que queremos representar, por esto recortamos la matriz para que la última variable t_n corresponda con el número de días que determinemos conveniente producir. Reiterando, que mencionamos que en cada fila está representado un pulso.

$$\hat{T} = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \vdots \\ t_n \end{bmatrix} \quad \hat{V} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} \quad \hat{D} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad M_p = \begin{bmatrix} t_1 & v_1 & d_1 & gf_1 & gc_1 & df_1 & dc_1 & c_1 \\ t_2 & v_2 & d_2 & gf_2 & gc_2 & df_2 & dc_2 & c_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ t_n & v_n & d_n & gf_n & gc_n & df_n & dc_n & c_n \end{bmatrix}$$

Ecuación 14 [4.6-1] Creación de matriz M_p de pulsos ficticios con los vectores de los patrones generados con las FDP y con los números identificadores de usos finales

4.6.1 Ensamblaje de la variable tiempo con el patrón de número de eventos por día y el patrón de hora de ocurrencia de los eventos

Ya hemos descrito cómo generamos con las FDP el patrón del número de eventos por día y la hora de ocurrencia de cada evento, también ya hemos explicado cómo se integra el vector del tiempo dentro de la matriz de los pulsos, pero no hemos explicado cuál es relación entre estas dos variables de tiempo. Ahora veremos cómo asociamos el número de eventos por día y la hora de ocurrencia para generar el vector del tiempo que es indispensable para referenciar todos los pulsos ficticios en una escala temporal.

Sabemos que cada valor del patrón ficticio del número de eventos por día representa cuantas veces en un día se ha utilizado un aparato y cada valor del patrón ficticio de tiempo muestra la hora en la que se utilizó un aparato cualquiera, entonces al conjunto de horas les asociamos un día, donde el número de eventos por día será la cantidad de horas a las que se les asociara un mismo día. Para explicar este proceso de otra manera utilizaremos un ejemplo; imaginemos que tenemos una serie eventos por día donde en el primer día ocurrieron 5 eventos, en el segundo hubo 3 y en el tercero 2, aparte contamos con una lista de 10 horas de ocurrencia, la asignación se hace de tal manera que las primeras 5 horas corresponderán al día 1, a las siguientes 3 horas se les asignará el día 2 y por último las dos horas restantes son del día 3. Este ejemplo lo podemos ver plasmado en la imagen 4.6-1, donde vemos una retícula con la serie del número de eventos por día, la serie de horas de ocurrencia y el resultado del vector tiempo.

Para representar de otra manera la creación de los vectores tiempo, mostramos la programación en VBA para Excel© en código 4.6-1, utilizamos esta programación en el modelo estocástico para asociar los días con las horas de todos los usos finales. En el código el contador “i” es utilizado para designar el día. En términos generales, esta subrutina resta una unidad al valor del conteo de eventos por día, con cada resta se le asigna a una hora el día correspondiente, cuando el valor del conteo de eventos por día llega a cero se salta al siguiente valor del conteo y el procedimiento empieza de nuevo. Manejamos el formato de hora de Microsoft en todos los cálculos en VBA para Excel©, esto simplifica mucho el manejo de las variables de tiempo ya una cifra con decimales contiene la información de fecha y hora.

MODELO ESTOCÁSTICO DE CONSUMO DE AGUA CALIENTE Y FRÍA EN UN HOTEL

```

Sub EOHORADIA()

'obtención del vector tiempo

Dim i As Integer
Dim j As Integer
Dim contA As Integer
Dim contB As Integer
Dim hora As Double
Dim día As Integer

i = 3
j = 0
contB = Cells(i + 1, 25)

Do While j < 3000 - 2

    contA = Cells(i, 25)
    contB = Cells(i + 1, 25)

    Do Until contA = 0
        contA = Cells(i, 25)

        contA = contA - 1
        Cells(i, 25) = contA

        hora = Cells(j + 2, 19)
        Cells(j + 2, 27) = i - 2
        'hora en formato hora de Microsoft
        Cells(j + 2, 28) = hora / 24
        Cells(j + 2, 29) = i - 2 + hora / 24
        j = j + 1
    Loop
    i = i + 1
Loop
End Sub

```

Código 7 [4.6-1] Ejemplo de la creación del vector tiempo con el número de eventos por día y la hora de ocurrencia de los eventos

A siguiente imagen esquematiza los arreglos vectoriales que se han hecho para generar el vector tiempo. Esta imagen corresponde a un ejemplo hipotético organizado en una hoja de cálculo. Para efectos de este modelo estocástico, el ensamblaje de todos los vectores tiempo se han hecho de manera automática con código de programación en VBA para Excel©, cómo ya hemos mencionado.

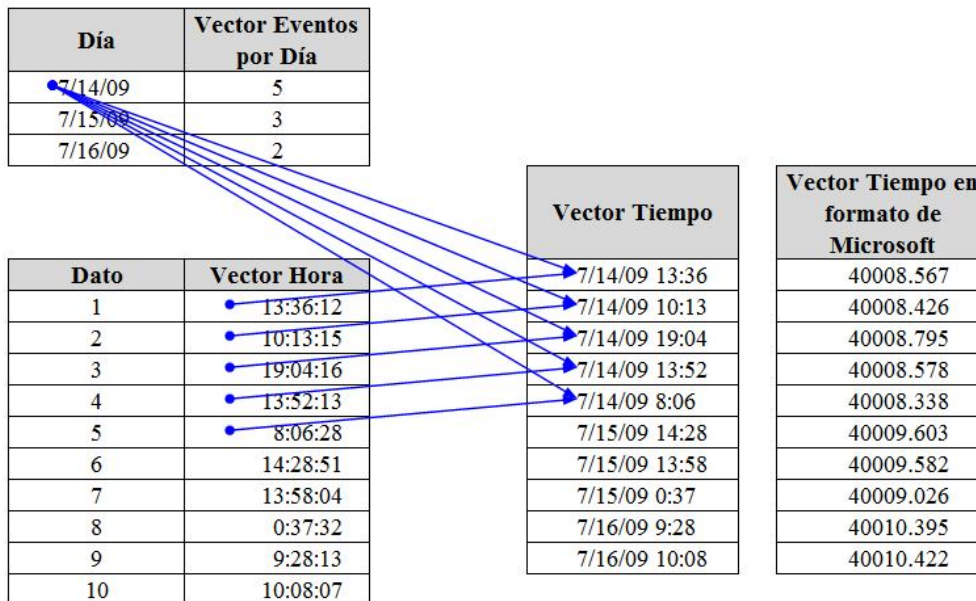


Imagen 54 [4.6-1] Ejemplo de la creación del vector tiempo con el número de eventos por día y la hora de ocurrencia de los eventos

4.6.2 Ensamblaje de la matriz única

Este es el último paso del modelo. Juntamos en una matriz única los vectores de tiempo, volumen y duración de cada uso final, mas los números identificadores del los aparatos sanitarios, cómo hemos descrito anteriormente. Primero concatenamos las matrices de los distintos usos para generar la matriz única, es decir, seguida de la última fila de una matriz; colocamos la primera fila de la matriz siguiente, y así sucesivamente hasta juntar todas las matrices. La matriz única tiene el mismo arreglo que la matriz M_p descrita en la ecuación 4.6-1, donde el número de filas depende de la cantidad de días que queramos representar. El paso siguiente es ordenar de menor a mayor las filas de la matriz única, pivotando con respecto a la columna de tiempo. De esta manera tendremos los pulsos mezclados de los distintos usos y ordenados con respecto al tiempo. También generamos matriz única para los consumos de agua fría y otra matriz para los consumos de agua caliente, de esta manera se podrán hacer análisis de eficiencia para los dos casos, en particular se puede hacer un estudio de eficiencia energética teniendo el patrón de consumo ficticio de agua caliente. En la imagen 4.6-2 presentamos los volúmenes de los pulsos ficticios representados con respecto al tiempo para agua fría y caliente, también mostramos la línea de tendencia de todos los volúmenes que cómo podemos apreciar es horizontal, esto nos indica que los volúmenes de los pulsos son aleatorios.

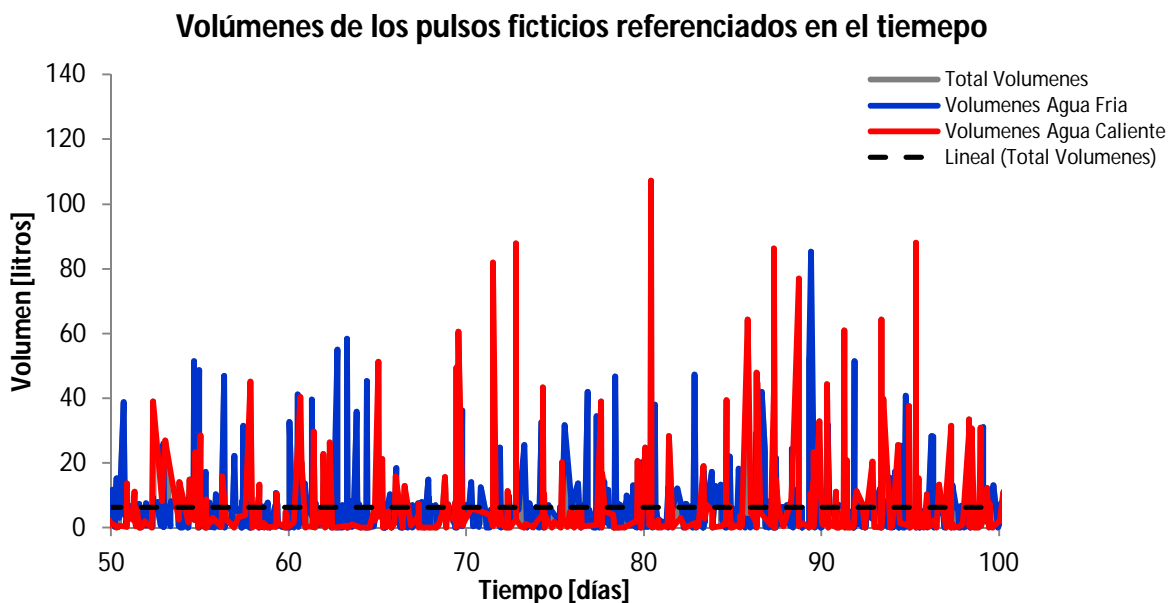


Imagen 55 [4.6-2] Resultado del ensamblaje de los vectores volumen, duración y tiempo en la matriz única, volúmenes ficticios de agua fría y caliente referenciados en el tiempo en un periodo de 50 días

4.6.3 Creación de micropulsos ficticios con la matriz única.

En la matriz única esta la información del volumen, el tiempo, el uso final y la duración, podríamos decir que los pulsos están definidos por completo, pero hace falta un último detalle, hay que sumar los pulsos reales se superponen, porque cómo ya hemos explicado, la utilización de los aparatos sanitarios puede ser simultánea. En la imagen 4.2-2 que representa el modelos de Neyman-Scott de pulsos rectangulares de Poisson (NSRPM), el traslape de pulso tiene cómo resultado picos de consumo que en la práctica se traduce cómo picos de caudal. Tomando en cuenta esta consideración, decidimos repartir el volumen de cada pulso en intervalos de 10 segundos que denominamos micropulsos, así, podemos representar de manera más veraz los pulsos, ya que sumamos los micropulsos que se presentan al mismo tiempo. Estableciendo que la cantidad de micropulsos depende de la duración de cada pulso, obtenemos el número de micropulsos dividiendo la duración entre 10 segundos y redondeando el resultado al entero superior. Comentamos que hemos escogido 10 segundos cómo la escala temporal, gracias a una astucia matemática, podremos sumar los volúmenes, con otro procedimiento. El volumen de cada micropulso se calcula dividiendo el volumen del pulso entre la cantidad de micropulsos, cómo podemos ver en el código 4.6-2.

```

Sub Intervalos10Seg()
'determina el numero de intervalos
dependiendo de la duración de los pulsos,
calcula el volumen repartido en cada
intervalo y redondea el tiempo en múltiplos
de 10 segundos

Dim i As Integer
Dim t As Double
Dim v As Double
Dim vi As Double 'volumen unitario
Dim d As Double
Dim dt As Double
'numero de intevalos por duracion
Dim numint As Double

i = 2
v = Cells(i, 1)
d = Cells(i, 3)

dt = 10 / 86400
'si un día es 1, dt son 10 segundos
Cells(2, 4) = dt

Do While d > 0

t = Cells(i, 1)
v = Cells(i, 2)
d = Cells(i, 3)

'numint es el numero de intervalos de 10
segundos, por duración del pulso

numint =
Application.WorksheetFunction.RoundUp
(d / 10, 0)

'la función MRound redondea el tiempo a
múltiplos de dt

t = Application.WorksheetFunction.MRound
(t, dt)

vi = v / numint

Cells(i, 5) = numint
Cells(i, 6) = vi
Cells(i, 7) = t

i = i + 1
d = Cells(i, 3)
Loop

End Sub

```

Código 8 [4.6-2] Cantidad y el volumen de los micropulsos, redondeo de tiempo a 10 segundos

MODELO ESTOCÁSTICO DE CONSUMO DE AGUA CALIENTE Y FRÍA EN UN HOTEL

Tenemos entonces la cantidad de micropulsos por pulso y el volumen de los micropulsos, ahora solo hace falta asignarle a cada micropulso una referencia temporal, esto esta descrito de otra manera en el código 4.6-3. En etapa anterior convertimos todos los datos de tiempo en múltiplos de 10 segundos. Con el método similar al descrito en imagen 4.6-1 “Ejemplo de la creación del vector tiempo con el número de eventos por día y la hora de ocurrencia de los eventos”, repartimos en volumen a cada micropulso micropulsos mientras le agregamos la variable del tiempo previamente ajustada a la escala de 10 segundos. El último paso en esta etapa es reordenar la serie de micropulsos para orden creciente, así los micropulsos de distintos pulsos se mezclan intercaladamente.

```
Sub ReparteVolXIntervalo()  
  
'este nos sirve para repartir vi volúmenes  
unitarios en cada intervalo de tiempo y  
reparte una por eventos en un día  
  
Dim j As Double  
Dim a As Integer  
Dim vint As Double  
    'volumen en el intervalo  
Dim tint As Double  
    't inicial del intervalo  
Dim i As Integer  
Dim t As Double  
Dim v As Double  
Dim vi As Double  
    'volumen unitario  
Dim d As Double  
Dim dt As Double  
Dim numint As Double  
    'numero de intervalos por duración  
  
dt = 10 / 86400  
'si un día es 1, dt son 10 segundos  
  
i = 2  
j = 2  
t = Cells(i, 7)  
  
Do While t > 0  
  
    numint = Cells(i, 5)  
    vint = Cells(i, 6)  
    t = Cells(i, 7)  
    a = 0  
  
    Do Until numint = 0  
        numint = Cells(i, 5)  
        numint = numint - 1  
        Cells(i, 5) = numint  
  
        dt = dt  
        vint = vint  
        tint = t + dt * a  
  
        Cells(j, 8) = tint  
        Cells(j, 9) = vint  
  
        a = a + 1  
        j = j + 1  
    Loop  
  
    i = i + 1  
Loop  
  
'se repite el cálculo del numero de  
intervalos para que se imprima en la hoja  
  
i = 2  
t = Cells(i, 7)  
  
Do While t > 0  
    t = Cells(i, 7)  
    d = Cells(i, 3)  
  
    'numint es el numero de intervalos de 10  
segundo por duración del pulso  
  
    numint =  
Application.WorksheetFunction.RoundUp  
(d / 10, 0)  
  
    Cells(i, 5) = numint  
  
    i = i + 1  
Loop  
End Sub
```

Código 9 [4.6-3] Asignación de volumen y tiempo a cada micropulso

MODELO ESTOCÁSTICO DE CONSUMO DE AGUA CALIENTE Y FRÍA EN UN HOTEL

Sabiendo que todos los datos de tiempo fueron redondeados y están en múltiplos de 10 segundos, podemos sumar los micropulsos intercalados que tengan la misma variable tiempo en escala de 10 segundos, esta tarea podría parecer simple, pero requiere que se consideren detalles importantes al momento de programar la suma de micropulsos superpuestos temporalmente, cómo podemos ver en el procedimiento establecido en el código 4.6-4.

```
Sub SumaXIntervalo()  
  
'suma los volúmenes que están en el mismo  
intervalo, suma los volúmenes que tienen el  
mismo tint y antes de la suma hace falta que  
los valores de entrada estén ordenados de  
menor a mayor  
  
'vint es por volumen del intervalo  
'tint es por volumen del intervalo  
  
Dim i As Double  
Dim m As Double  
Dim a As Double  
Dim b As Integer  
  
Dim tint As Double  
Dim tintA As Double  
Dim tintB As Double  
Dim vint As Double  
Dim vint0 As Double  
Dim vintA As Double  
Dim vintB As Double  
Dim vintRes As Double  
  
i = 2  
m = 2  
b = 0  
  
tint = Cells(i, 8)  
  
Do While tint > 0  
    tint = Cells(i, 8)  
  
    tintA = tint  
    tintB = Cells(i + 1, 8)  
  
    vintA = Cells(i, 9)  
    vintB = Cells(i + 1, 9)  
  
    If Not tintA = tintB Then  
        If b = 1 Then  
            vint0 = Cells(i, 9)  
  
            Cells(m, 11) = tintA  
            Cells(m, 12) = vintRes + vint0  
            m = m + 1  
            b = 0  
            vintRes = 0  
        Else  
            Cells(m, 11) = tintA  
            Cells(m, 12) = vintA  
            m = m + 1  
            End If  
    Else  
        vintRes = vintA + vintRes  
        b = 1  
    End If  
  
    i = i + 1  
Loop  
End Sub
```

Código 10 [4.6-4] Suma de micropulsos con la misma variable tiempo

Gracias a este paso del modelo estocástico obtenemos el resultado final, cumpliendo entonces con el objetivo principal de modelo estocástico ya que reproducimos un conjunto ficticio de pulsos similar al conjunto de pulsos reales.

En la grafica 4.6-3 representamos los volúmenes de los pulsos antes procedimiento de seccionamiento de pulso y en la gráfica 4.6-4 mostramos los micropulso que son el producto del seccionamiento de los pulso en escala temporal de 10 segundos, comparando las dos gráficas podemos ver los datos iniciales con los volúmenes de pulsos y el resultado del proceso que acabamos de describir con los micropulsos. Las dos gráficas muestran los registros en el mismo periodo de tiempo, del día 15 al 30, aparte la escala de volumen es la misma. La representación de los micropulso se asemeja más los pulsos reales que observamos en el apartado 4.2.3 “Identificación de pulsos”, en comparación con la representación de los volúmenes de los pulsos.

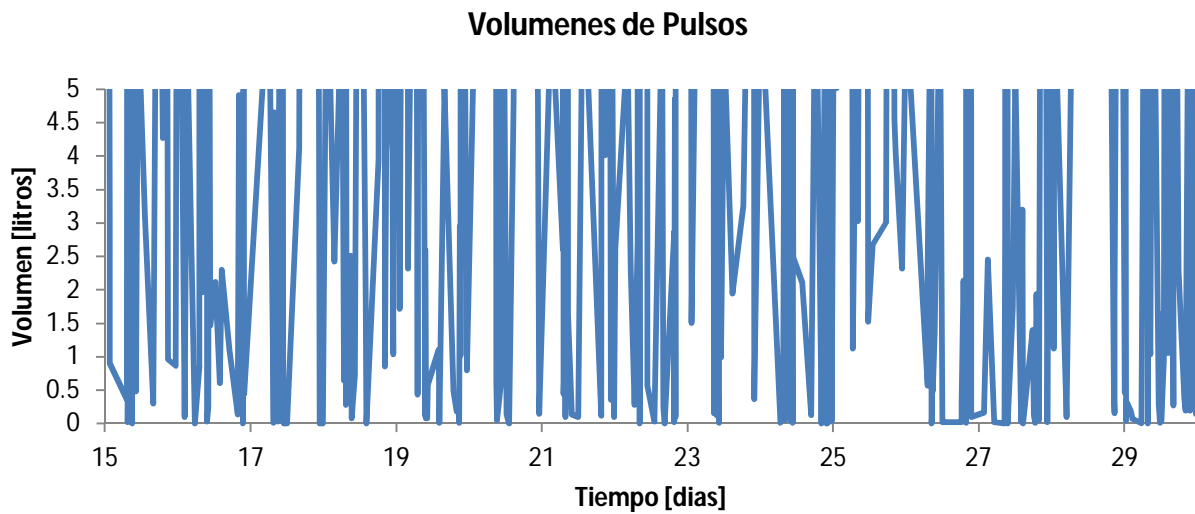


Imagen 56 [4.6-3] Volúmenes de los pulsos referenciados en el tiempo

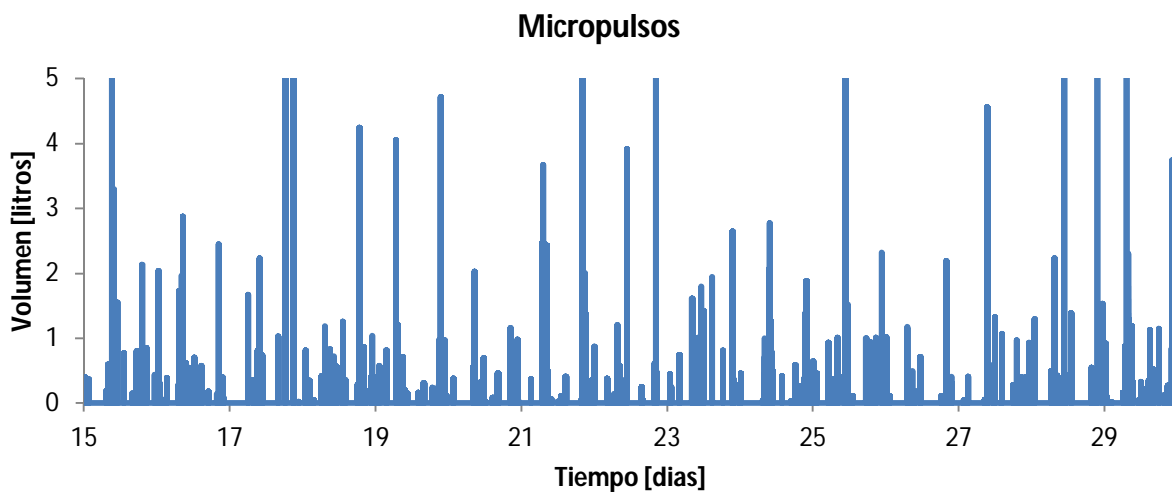


Imagen 57 [4.6-4] Micropulsos referenciados en el tiempo

4.6.4 Comparación de los pulsos reales con los pulsos ficticios.

Independientemente del tiempo de ocurrencia, podemos decir que los pulsos tienen como características la duración y el volumen, tomando en cuenta esta consideración graficamos las nubes de los pulsos reales y ficticios, en la imagen 5.1-1 donde están representadas en el eje de las abscisas las duraciones y en el eje de las ordenadas los volúmenes, los rombos azules corresponden a los datos reales y los cuadrados grises son de datos ficticios.

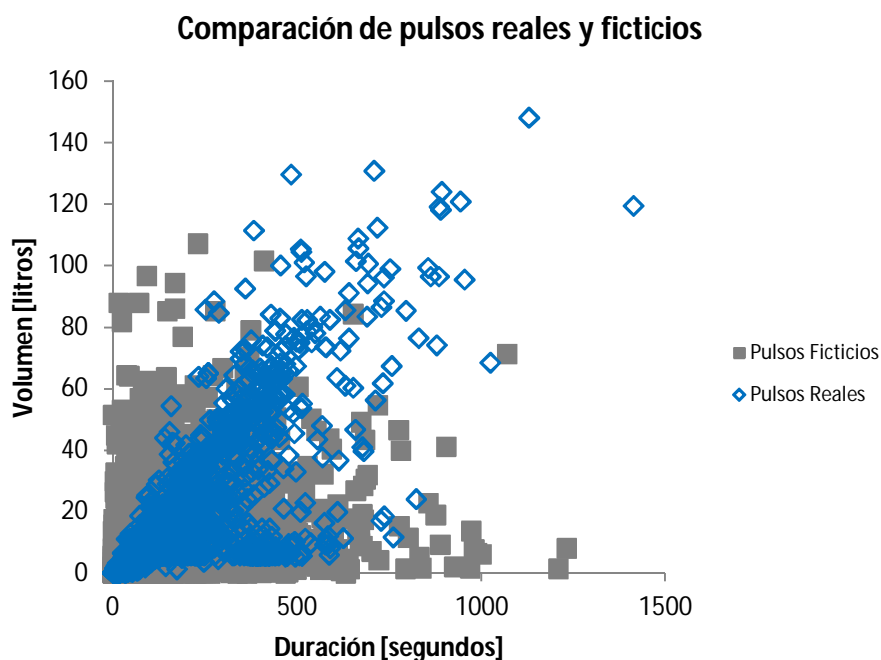


Imagen 58 [4.6-5] Comparación con nubes de puntos de pulsos reales y ficticios

Comparando los dos conjuntos de pulsos podemos observar diferencias y esquematizamos las nubes de puntos como triángulos en la imagen 5.1-2 para poder apreciarlas con mayor claridad. Las distintas zonas están marcadas con letras mayúsculas en el esquema, la nube de pulsos ficticios está representada por el triángulo gris y los pulsos reales están en forma de un triángulo azul. Una de las principales diferencias entre los datos generados con el modelo y los datos medidos en campo son los valores extremos de caudal, como vemos en la zona A donde los pulsos tienen un volumen pequeño y una duración grande lo que se traduce en un caudal pequeño, en la zona D apreciamos el caso contrario donde el pulso tiene una duración pequeña y un volumen grande que genera un caudal grande. También podemos apreciar en la zona C que

los datos reales presenta una mayor dispersión en los extremos, dicho de otra forma, los pulso reales tienen más valores de grandes duraciones con grandes volúmenes, esto implica que los datos reales presentan caudales más grandes. La zona B muestra el conjunto de datos reales y ficticios que coinciden.

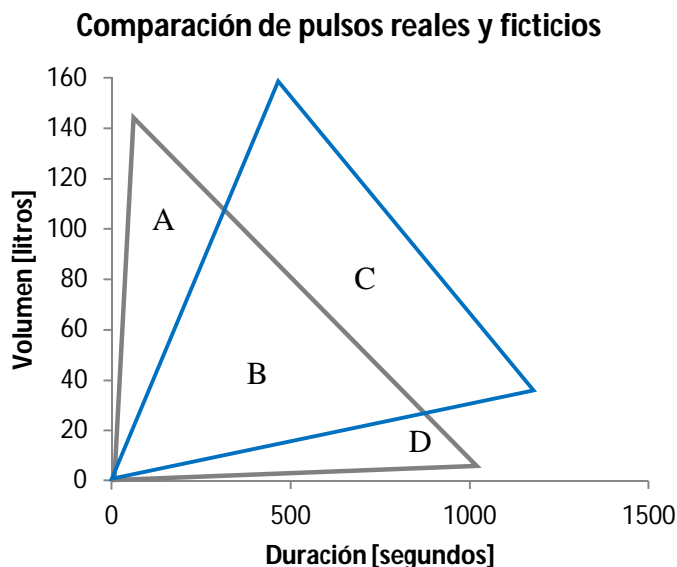


Imagen 59 [4.6-6] Esquemización de las nubes de puntos de pulsos reales y ficticios con triángulos

Este resultado es predecible ya que la asociación en los pulsos ficticios del volumen y la duración se realiza de manera aleatoria, aparte la obtención de la duración a través del volumen también es corregido de manera aleatoria lo que acentúa la dispersión de datos. Se puede hacer una corrección del el conjunto de pulsos ficticios con valores umbral de cauda, podemos crear un filtro donde los valores irreales de caudal son eliminados. Para lograr esto encontramos el valor mínimo y el valor máximo del caudal, aplicando un filtro, se descartan todos los pulsos ficticios que no tengan un caudal dentro de un rango real. En la tabla se muestran estos valores de caudales criterio para la selección de pulsos.

Criterio	Volumen	Duración	Caudal	Caudal
	[litros]	[segundo]	[litros/segundo]	[litros/hora]
Máximo Caudal	54	157.8	0.34	1231.94
Mínimo Caudal	6	586.9	0.01	36.8

Tabla 7 [5.1-1] Criterios del caudal máximo y mínimo para la corrección del caudal

A continuación presentamos la grafica Imagen 5.1-3 en la imagen, nos muestra el conjunto de pulsos ficticios representados en gris después de haber sido corregidos. De esta manera reducimos el tamaño de las zonas A y D descritas en el esquema Imagen 5.1-2. Los rombos rojos representan el valor máximo y mínimo de caudal de los pulsos reales.

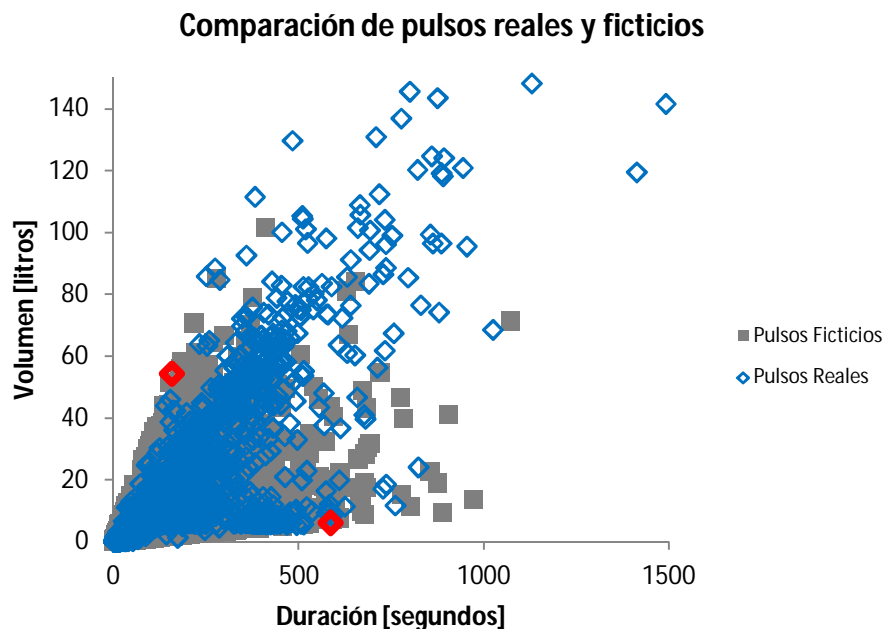


Imagen 60 [4.6-7] Resultado de la corrección a través de los valores umbral de caudal

5 Análisis de Resultados

Hemos descrito con detalle cuáles son las bases de cálculo y los procedimientos del modelo estocástico presentando graficas, tablas, esquemas y código de programación. A lo largo de la explicación del modelo hemos presentado los productos de cada paso y la comprobación de cada una de las partes que integran el modelo, en particular hemos presentado la bondad del ajuste para las funciones de distribución de probabilidad y una corrección por umbrales de caudal a los pulsos. Ahora solo resta observar los distintos resultados para sugerir en qué pueden ser empleados, aparte con la comparación de los pulsos reales y los ficticios esperamos evaluar aspectos del modelo que pueden ser mejorados. Los resultados mostrados corresponden a los registros medidos en campo y a los pulsos artificiales generados con el modelo estocástico que simulan los consumos de agua en los aseos de una habitación de hotel durante 365 días.

5.1 Comparación de la probabilidad de ocurrencia de eventos a lo largo del día

Comparamos en este apartado la probabilidad de la hora de ocurrencia de los pulsos por intervalos de 18 minutos. Esto nos permite comparar la distribución temporal de los pulsos ficticios y reales, ya que la probabilidad está calculada con la suma de eventos por intervalos repartidos entre el número total de eventos. Como podemos ver en la imagen 5.1-1, los patrones de ocurrencia de los pulsos ficticios son idénticos a los reales, salvo por una pequeñas diferencias. Este resultado es predecible puesto que la función de distribución de los usos finales fue generada con la distribución de los datos reales como se ha explicado en el apartado 4.5.4 “Comprobación la obtención de la hora con distribución de probabilidad acumulada por intervalos”. Con esta imagen comprobamos que los datos reales tienen la misma distribución en el tiempo que los datos ficticios y las diferencias se deben a la variabilidad de la cantidad de pulsos por cada uso final.

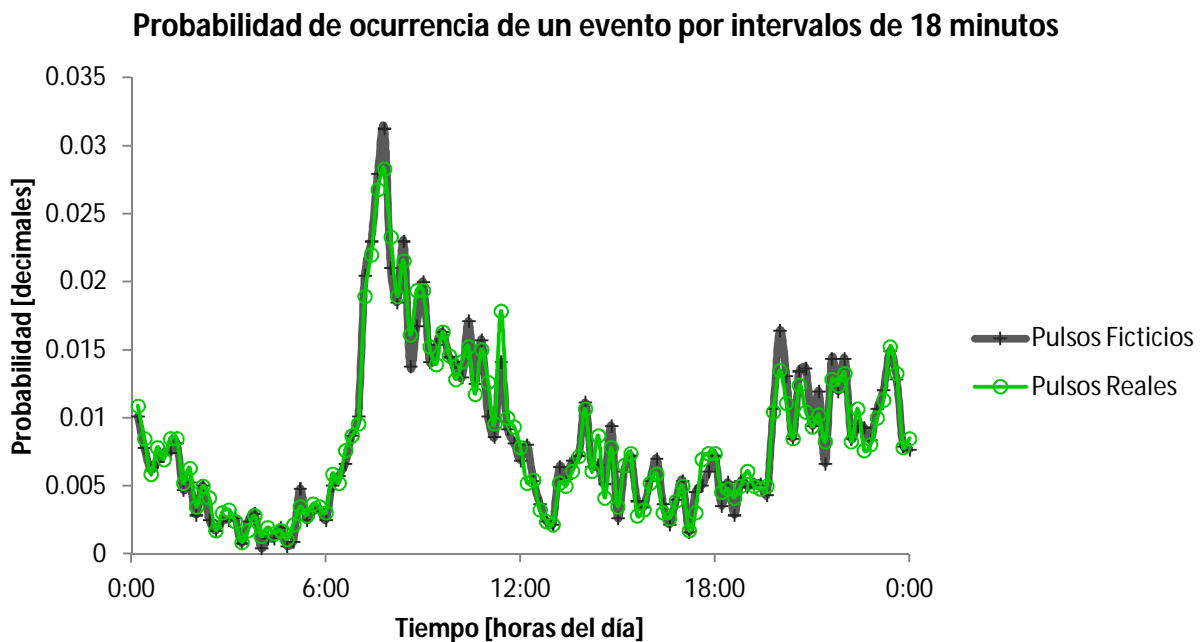


Imagen 61 [5.1-1] Probabilidades de ocurrencia en intervalos de 18 minutos de los pulsos reales y ficticios por día

5.2 Comparación con los volúmenes promedio por intervalos en un día

Una de las formas más claras de comprobar si el modelo está generando pulsos artificiales similares a los reales es contrastando los volúmenes representados en una escala temporal. Debido a que contamos con una gran cantidad de datos, es imposible comparar gráficamente las series completas, por esta razón decidimos sumar el volumen por intervalos de tiempo a lo largo de un día, este tipo de graficas son similares a una curva de modulación ya que representan variables a lo largo del día, y de hecho, obteniendo las sumas de cada intervalo, podemos sugerir una curva de modulación que puede ser utilizada en para cálculos de simulación de redes de distribución de agua. Los intervalos de 18 minutos nos dan suficiente definición para comparar las dos series de datos, aparte hemos utilizado la misma escala de intervalos para las operaciones en el modelo.

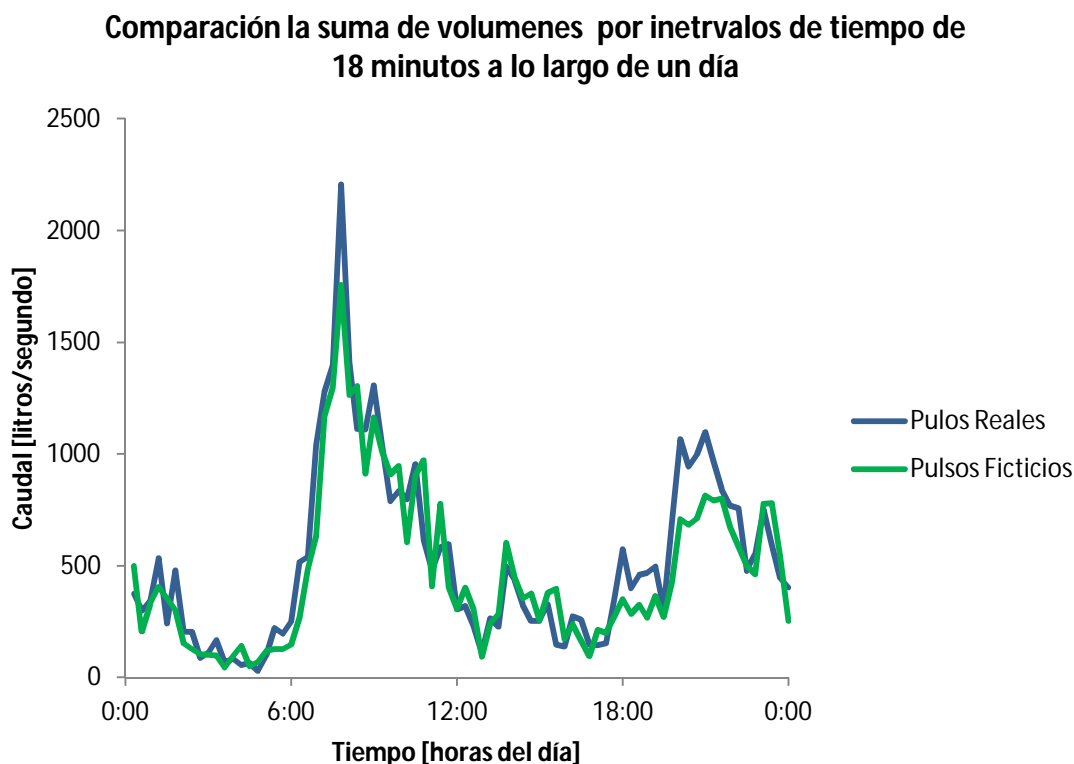


Imagen 62 [5.2-1] Suma por intervalos de 18 minutos de los pulsos reales y ficticios por día

En la imagen 5.2.1 vemos que el perfil del patrón de pulsos ficticios y el patrón de pulsos reales son parecidos y a grandes rasgos conservan el mismo orden de magnitud. Por otro lado podemos constatar que los pulsos ficticios presentan volúmenes en promedio menores a los promedios de volúmenes reales, esto se puede deber a la discrepancia entre las distribuciones reales de datos y las obtenidas con las FDP, teniendo entonces una mayor cantidad de pulso de menos volumen que reducen la suma cada uno de los intervalos, si lo vemos de otra forma, los grandes volumen de los pulsos reales aumentan el valor sumado en los intervalos

También podemos apreciar en la imagen 4.6-6 “esquematación de las nubes de puntos de pulsos reales y ficticios con triángulos” que este modelo tiene dificultad para crear pulso de gran volumen y duración, en particular; nos referimos a la zona C del esquema. Para darnos una idea de por qué sucede esto, recordemos la imagen 4.5-7 “Comprobación de bondad del ajuste de la FDP Gamma a la serie de volúmenes de pulsos únicos consumidos por duchas de agua caliente con el histograma de probabilidades” y teniendo en mente el apartado 4.2.3 “Identificación de pulsos”, reconocemos que se definieron visualmente algunos pulso como duchas y en algunos casos se marcaron como duchas una serie de pulsos de poco volumen. Tomando en cuenta todo lo anterior, vemos que se ajustaron las FDP a una gran diversidad de volúmenes de pulsos, esto provoca el “alargamiento” de la FDP ajustada a los volúmenes de las duchas, lo que resulta en una mayor cantidad de volúmenes pequeños y una escasez de volúmenes grandes. Así explicamos entonces porque esta cadena de circunstancias provoca que el modelo estocástico genere un conjunto de volúmenes con una magnitud ligeramente inferior. Podemos proponer como una solución generar, el ajuste de una función de distribución de probabilidad especial para los eventos extraordinarios de consumos con volúmenes y duraciones grandes.

5.3 Comparación con los caudales promedio por intervalos en un día

Ya que uno de los principales interés de un modelo estocástico de este estilo es la generación de las series de datos artificiales para los modelos de cálculo de redes de distribución de agua; consideramos que es importante verificar que el modelo genera caudales suficientemente buenos. Podemos apreciar en la imagen 5.3-1 que el patrón de los caudales promedio para los datos reales y los ficticios son más similares en comparación con los volúmenes.

También observamos otra diferencia con respecto a la comparación anterior, si bien los volúmenes artificiales eran menores que los volúmenes reales, en este caso los caudales artificiales son mayores a los caudales reales, esto es un aspecto positivo del modelo, ya que en la etapa de diseño o estudio siempre es necesario crear situaciones límite, donde por lo general se aumentan las cargas a un sistema, en este caso el mismo modelo estocástico arroja valores de caudal más grandes que los originales. Y por ultimo podemos constatar que a grandes rasgos que los dos patrones se parecen. Gracias a esta comprobación, podemos sugerir que los patrones generados con este modelo estocástico pueden ser utilizados para simular el consumo de agua fría y caliente en un hotel.

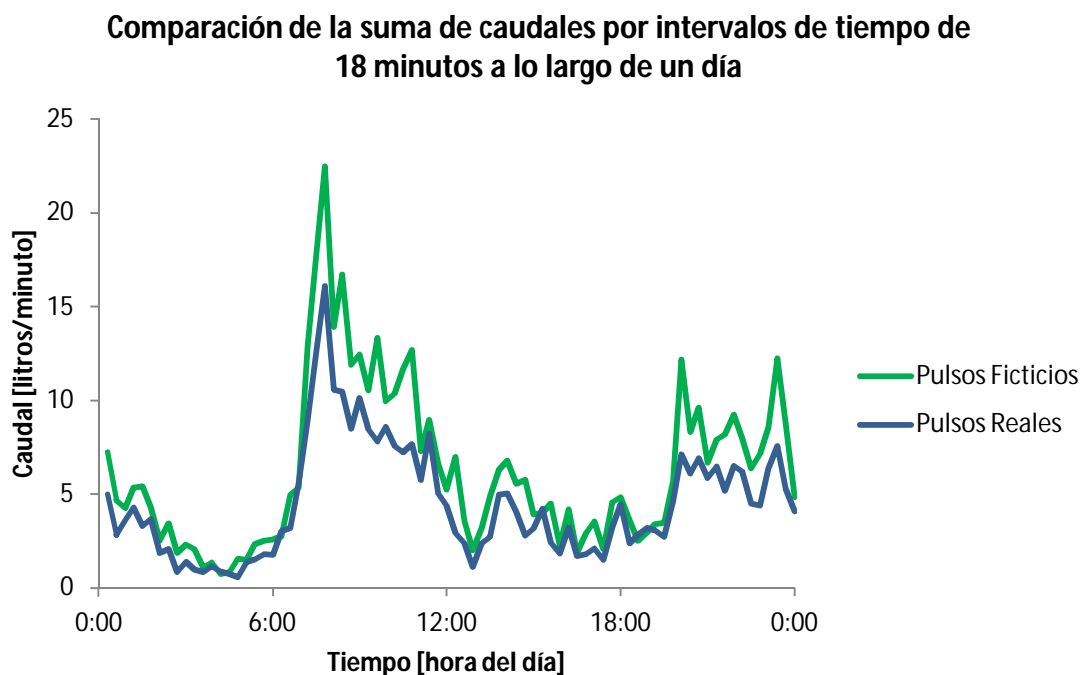


Imagen 63 [5.3-1] Suma de caudales por intervalos de 18 minutos de los pulsos reales y ficticios por día

5.4 Distribución de los consumos ficticios por aparato sanitario en una habitación de hotel.

Los resultados que hemos presentado hasta el momento nos sirven para validar el modelo. Ahora solo queda presentar el esbozo de algunos productos del modelo estocástico resumidos con graficas. Esta información puede resultar interesante el desarrollo de otros estudios enfocados en la eficiencia energética o el rendimiento de las redes de distribución de agua. Dentro de los principales resultados que nos gustaría mostrar en la distribución porcentual del consumo de agua entre los aparatos sanitarios. Aunque parezca increíble, no podemos saber con certeza la distribución del los volúmenes reales consumidos por aparato con el registro de medidas hechas en campo por las razones que hemos planteado en el apartado 4.2.3 “Identificación de pulsos”. Con este modelo estadístico pudimos producir pulso aislados para cada uso final, permitiendo así, el cálculo del peso que tiene cada aparato en el consumo de agua en una habitación de un hotel. Inclusive, constatando las similitudes entre las series ficticias y reales se puede extrapolar las proporciones de los pulsos ficticios para estimar proporciones reales de una manera acertada. Presentamos en la imagen 5.4-1 las proporciones de consumo que acabamos de describir, los porcentajes fueron calculados a partir de la suma total de los volúmenes por uso final después de haber filtrado bajo el criterio de valores umbral de caudal.

Distribucion de los consumos ficticios de agua una habitacion de hotel.

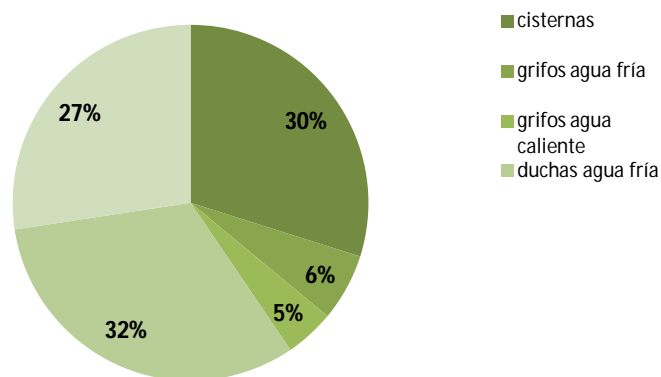


Imagen 64 [5.4-1] Distribución por aparato sanitario de los volúmenes ficticios de agua consumidos en la habitación de un hotel

5.5 Comparación de dos simulaciones de consumos con el modelo estocástico

Mencionamos que otra ventaja de generar los consumos con números aleatorios se presenta al momento de realizar varias simulaciones, ya que con cada simulación se generan series distintas de pulsos. Esto es importante, ya que no solo simulamos los patrones de consumo, si no también se simula la variabilidad aleatoria real de la magnitud y tiempo de ocurrencia de los eventos reales. Este rasgo del modelo estocástico puede resultar interesante al momento de introducir la serie de consumos en un modelo matemático de estudio de redes de distribución de agua, ya que se pueden simular distintos escenarios de cargas al sistema. Podemos observar esta variabilidad en la imagen 5.5-1 donde se superponen dos series de volúmenes referenciados en el tiempo, generados con el modelo estocástico con distintas series de números aleatorios. Las series de datos corresponden a la séptima y octava simulación con el modelo estocástico, se presentan los puntos de las series de datos graficadas con efecto de transparencia para apreciar con mayor claridad la superposición de las dos series de datos.

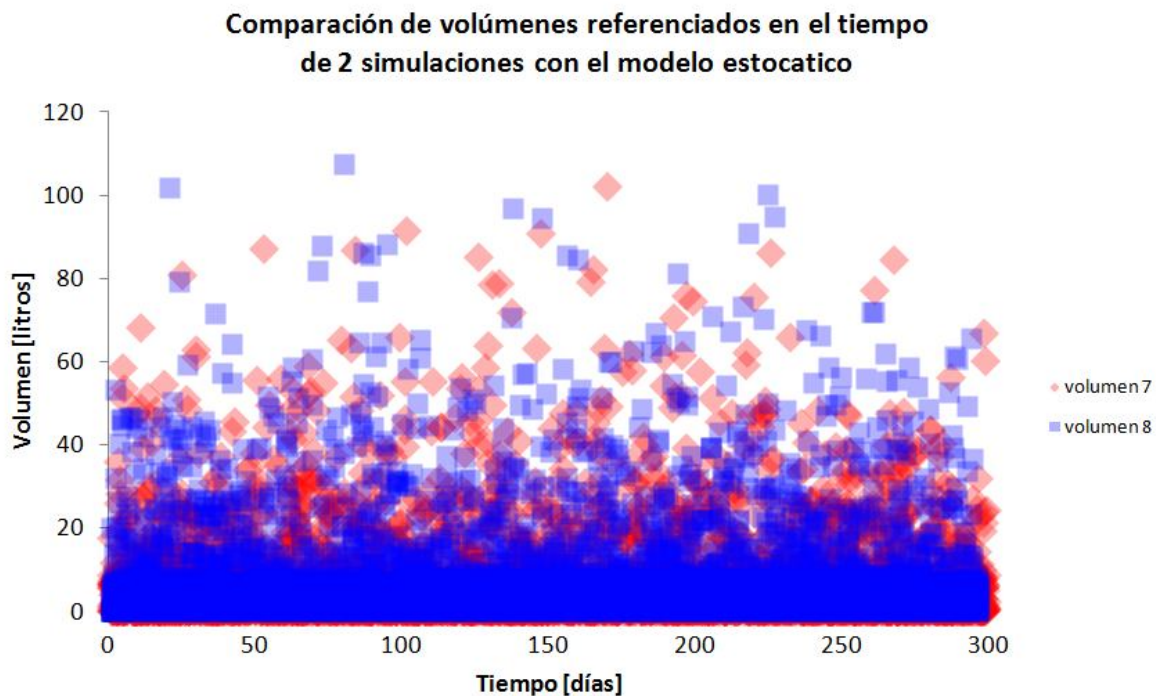


Imagen 65 [5.5-1] Superposición de volúmenes referenciados en el tiempo generados en 2 simulaciones distintas series de números aleatorios

5.6 Distribución de los consumos ficticios de agua caliente en la habitación de un hotel en el transcurso de un día.

Presentamos por último, la distribución porcentual de los volúmenes ficticios de agua caliente de una habitación de un hotel a lo largo del día en intervalos de 2 horas, es una grafica de tipo radial. En la grafica se muestran los porcentajes con respecto a la suma de todos los volúmenes de agua caliente generados, cada porcentaje representa la suma de volumen de los pulsos ficticios en el intervalo de tiempo de 2 horas, donde por ejemplo: si leemos 6% a las 12:00 horas, implica que en el periodo de 12:00 a 14:00 está representado un 6% del volumen total. Este grafico nos sirve para saber cómo se distribuyen los consumos a lo largo del día. Esta clase de información puede ser de utilidad para el dimensionamiento de calderas de cualquier tipo, puesto que representa la cantidad de volumen de agua utilizado por periodos de tiempo.

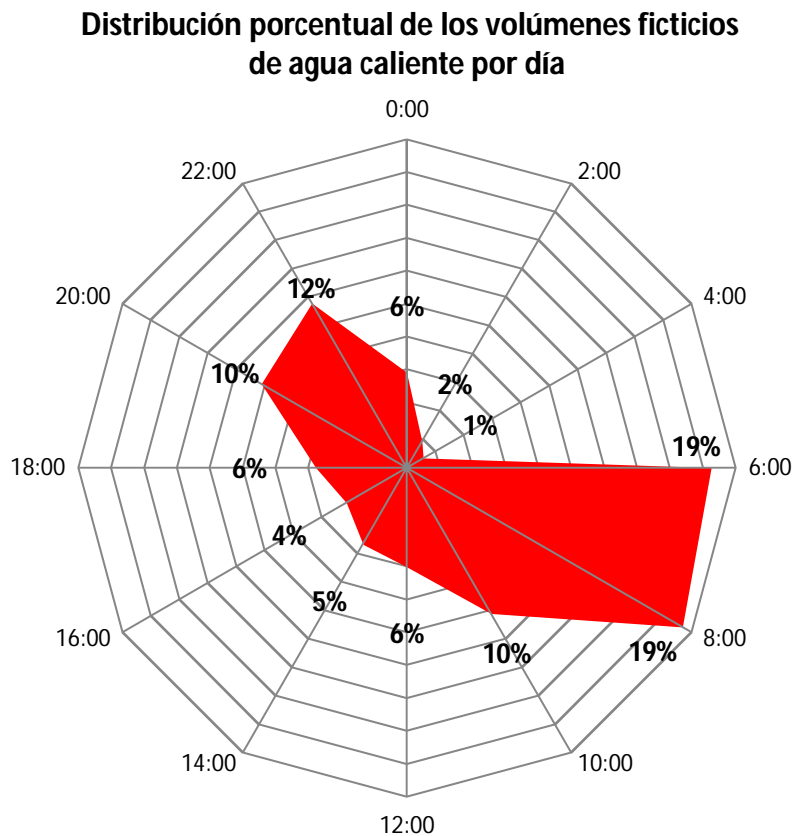


Imagen 66 [5.6-1] Distribución porcentual de los volúmenes ficticios de agua caliente de una habitación de un hotel a lo largo del día en intervalos de 2 horas

6 Conclusiones.

Hemos elaborado un modelo estocástico que nos permite crear series ficticias de la demanda de agua a partir del registro de los consumos de agua caliente y fría medidos en un hotel. El modelo estocástico que desarrollamos genera patrones ficticios de consumo de agua similares a los reales, los datos generados están compuestos por el mismo tipo de variables que los datos originales y representan el gasto de agua caliente y fría en una habitación de hotel. Para el modelo se han establecido los parámetros estadísticos de los patrones de consumo y el modelo está adaptado específicamente para la manipulación del registro temporal de variables implicadas en el uso de aparatos sanitarios en una habitación de un hotel.

Contrastando los conjuntos de pulsos ficticios con los reales, observamos que son parecidos, pero no iguales, esto es un resultado del modelo deseable, ya que tenemos el interés de simular también la variabilidad aleatoria de magnitud y ocurrencia de los eventos reales. Es posible gracias a la utilización de números aleatorios para la generación de las características de los pulsos. Mencionamos que ningún parámetro ha sido preestablecido en los procesos del modelo, todas variables utilizadas en la generación de pulsos ficticios han sido obtenidas de los registros de medidas hechas en campo.

Constatamos que las funciones de distribución de probabilidad pueden ser utilizadas para el análisis y producción de patrones ficticios de los consumos de agua de la habitación de un hotel. Inclusive observando que el ajuste de las funciones de distribución de probabilidad a las series de patrones de los datos reales no fue exacto, observamos que los resultados de las simulaciones concuerdan con la realidad. Aparte la programación en VBA para Excel, resultó ser una buena herramienta para la confección y ejecución del modelo estocástico. Con los 47700 caracteres de código de programación, se pueden generar los patrones ficticios de consumos de manera semiautomática, esto presenta una ventaja al reducir el tiempo de generación de simulaciones.

El conjunto de consumos ficticios generados con este modelo podría ser utilizado en un modelo matemático de estudio hidráulico y negretico de las instalaciones agua de un hotel, ya que se pueden simular distintos escenarios de cargas al sistema. En el futuro se podría utilizar este modelo en la evaluación de eficiencias hídricas y energéticas, así como el mejor del dimensionado de instalaciones.

Aportaciones

En el desarrollo de este modelo se generaron datos y metodologías que pueden resultar útiles para otros proyectos de investigación, enlistamos cómo aportaciones producidas con el modelo estocástico las siguientes:

- El modelo estocástico de consumo de agua caliente y fría en una habitación de un hotel puede ser utilizado para crear distintas series ficticias de consumo de agua en una habitación de un hotel y se pueden emplear en la simulación de redes hidráulicas.
- El método empleado en el modelo expresado en código de programación permitirá realizar las mejoras al modelo, parte que se puede modificar el código para adaptar el modelo a otro tipo de consumos de agua, por ejemplo habitacional o de oficinas. Incluso se podría adaptar este modelo a para la caracterización y simulación de otros patrones del comportamiento de usuarios de cualquier sistema.
- Sugerimos tres procedimientos para la generación de series ficticias de datos referenciados en el tiempo a partir de registros reales, con las funciones de distribución de probabilidad, la corrección con una función de distribución de probabilidad de una relación lineal y la distribución de probabilidad por intervalos de tiempo. Estos métodos han sido descritos y pueden ser utilizados en otros campos de estudio.
- Sugerimos cómo una alternativa para la clasificación de pulsos con la aplicación A-ITA; tomar en cuenta los órdenes de magnitud de los pulsos como un criterio de clasificación.
- Se ha identificado y caracterizado los usos finales, en el apartado 4.2.3 “Identificación de pulsos” la describimos de las características de los patrones reales de consumo de agua de los aparatos sanitarios en la habitación de un hotel, esto puede ser utilizado como referencia para otros nuevos usuarios del A-ITA. Aparte mostramos algunas proporciones del consumo de agua fría y caliente en la habitación de un hotel, que pueden llegar a ser útiles cómo datos de referencia rápidos para la realización de algún pre-proyecto de sistemas de distribución de agua en un hotel.
- Con los parámetros estadísticos descriptivos de los consumos de agua en un hotel y las funciones de distribución de probabilidad, otras personas pueden generar sus propias series de consumos por aparato sanitario.
- Las series ficticias de consumo de agua en un hotel pueden ser utilizadas en modelos matemáticos de simulación de redes hidráulicas y sanitarias.

7 Desarrollos futuros

La lista de desarrollos futuros para el modelo estocástico es amplia, podemos plantear el modelo en relación con otros trabajos de investigación o con otras tecnologías en desarrollo. Como por ejemplo, el análisis de los volúmenes de agua caliente producidos por el modelo estocástico pueden llegar a ser interesantes en relación con otros proyectos de investigación de eficiencias energéticas como el desarrollado por Cabrera²⁶. Se podrían utilizar las series artificiales de consumos de agua caliente en hoteles para hacer auditorias energéticas virtuales, así se podría estimar la cantidad de energía empleada de los sistemas hidráulicos dedicados a la calefacción de agua, solo haría falta el modelo matemático de la red de distribución de agua caliente en un hotel, así podríamos estimar el gasto energético que podría extrapolarse a un coste económico o una huella ecológica.

El agua calentada con energías renovables puede considerarse como una alternativa a la utilización de gas para la calefacción de agua. Los patrones de consumo horario de agua caliente, como el presentado en el apartado 5.4 “Distribución de los consumos ficticios de agua caliente en la habitación de un hotel en el transcurso de un día”, pueden ser utilizados por grupos de promotores o desarrolladores de sistemas de solares de calefacción de agua sanitaria, considerando que los patrones de consumos de agua caliente diarios de un hotel pueden servir para estimar la cantidad de agua caliente que puede ser utilizada por los clientes de un hotel. Con el gran nivel de detalle empleado en este modelo estocástico, se podrían hacer presupuestos más detallados que justifiquen desde el punto de vista económico la utilización de tecnologías verdes en hoteles. Por último si relacionamos el turismo con la época vacacional veraniega, la cantidad horas de insolación en el estío y la cantidad de radiación que recibe España en comparación con el resto de países de Europa, es ineludible reconocer las ventajas que aportan el aprovechamiento de la energía solar térmica en la infraestructura turística. En el manual de energías renovables solar técnica, elaborado por López²⁷, se expone ampliamente la situación de la energía solar térmica en España y se recalca la importancia de su desarrollo.

²⁶ Cabrera, Enrique, M. ASCE¹; Pardo, Miguel A.²; Cobacho, Ricardo³; Cabrera Jr. Enrique⁴, Energy Audit of Water Networks, Febrero 2010, Journal Of Water Resources Planning and Management, American Association of Civil Engineers, ASCE, ISSN 0733-9496/2010/6-669-677.

²⁷ López Cózar José Manuel, Energía solar térmica, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid, octubre de 2006.

8 Bibliografía

- ¹ | J. Fernando Vera Rebollo, Agua Modelo de Desarrollo Turístico: Las Necesidades de Nuevos Criterios para la Gestión de los Recursos, (julio 2006), Proyecto de investigación CTM2004_02405/MAR (Ministerio de Educación y Ciencia), Universidad de Alicante.
- ² | José Manuel Soria López, Plan Nacional e Integral de Turismo 2012-2015, (2012), Ministerio De Industria, Energía y Turismo Instituto de Turismo de España, Instituto De Estudios Turísticos.
- ³ | Sandalio Gómez, María Dolores García, Magdalena Opazo, Mercado del Trabajo Español Ante una Nueva Reforma Laboral, (junio 2009), IESE Business School Universidad de Navarra.
- ⁴ | Resultados de la actividad turística en España 2011, (Abril de 2012), Ministerio De Industria, Energía y Turismo Instituto de Turismo de España, Instituto De Estudios Turísticos.
- ⁵ | Sixto Rios, Modelos y método Montecarlo en la investigación operativa industrial y militar, Trabajos de Estadística y de Investigación Operativa, Volume 8, Number 2 (1957), 79-90, DOI: 10.1007/BF03004006.
- ⁶ | ⁹ | ¹⁶ | P.S.P. Cowpertwait, Mixed Rectangular Pulses Models of Rainfall, Res. Lett. Inf. Math. Sci., 2003, Vol.5, pp 61-70, Institute of Information & Mathematical Sciences Massey University at Albany, Auckland, New Zealand. p.s.cowpertwait@massey.ac.nz
- ⁷ | Gascón, Laura¹; Arregui Francisco²; Cobacho Ricardo³; Cabrera Jr. Enrique⁴; Urban Water Demand In Spanish Cities By Measuring End Uses Consumption Patterns, Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia. Spain.
- ⁸ | Alcocer Yamanaka, Víctor H.1; Tzatchkov Velitchko G.2; Arreguín Cortes Felipe I.3 Modeling Of Drinking Water Distribution Networks Using Stochastic Demand, 11 Abril 2012, Springer Science + Bussines Media, B.V. 2012.
- ¹⁰ | Alcocer Yamanaka, Víctor H.1; Tzatchkov, Velitchko G.2; Estimación de Parámetros del Consumo Instantáneo de Agua Potable de Lecturas Acumuladas, Noviembre 2008, RIIT Vol. X Num. 3, 2009 237-246 ISSN 405-7743 FI- UNAM
- ¹¹ | ¹² | ¹⁷ | E.J.M.Blokker¹; E.J. Pieterse-Quirijns²; J.H.G.Vreeburg³; J.C. van Dijk⁴, Simulating Nonresidential Water Demand with a Stochastic End- Use Model, November/

December 2011, Journal of Water Resources Planning and Management, American Society of Civil Engineers, DOI 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000146.

- ¹³ | ¹⁸ | García, Vicente Juan¹; García Bartual, Rafael²; Cabrera, Enrique M.^{ASCE3}; Arregui Francisco⁴; García Serra Jorge⁵, Stochastic Model To Evaluate Residential Water Demands, September/ October 2004, Journal Of Water Resources Planning And Management, American Society of Civil Engineers, DOI 10.1061/(ASCE)0733-9496(2004)130:5(386)
- ¹⁴ | Rico Amorós, Antonio M¹, Tipologías de Consumo de Agua en Abastecimientos Urbano-Turísticos de la Comunidad Valenciana, 11 de enero del 2007, Investigaciones Geográficas, Instituto Universitario de Geografía Universidad de Alicante, número 42 (2007) ISSN: 0213/4691
- ¹⁵ | Cabrera, Enrique, M. ASCE¹; Pardo, Miguel A.²; Cobacho, Ricardo³; Cabrera Jr. Enrique⁴, Energy Audit of Water Networks, Febrero 2010, Journal Of Water Resources Planning and Management, American Association of Civil Engineers, ASCE, ISSN 0733-9496/2010/6-669-677.
- ¹⁹ | ²⁰ | ²¹ | Vito Ricci, FITTING DISTRIBUTIONS WITH R, Release 0.4-21 February 2005
- ²¹ | R Documentation, Maximum Likelihood Estimation, <http://127.0.0.1:29486/library/stats4/html/mle.html>
- ²² | Maximum likelihood - Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Maximum_likelihood
- ²⁴ | R Documentation, The Gamma Distribution, <http://stat.ethz.ch/R-manual/R-patched/library/stats/html/GammaDist.html>
- ²⁵ | Alfonso Arivilca, Visual Basic en Excel y Ajuste de Minimos Cuadrados, De Esto y Lo Otro de La Ingeniería, blogg de Usuarios dedicados a la Ingeniería Química, lunes, 25 de julio de 2011, <http://borradoresalfonso.blogspot.com.es/2011/07/visual-basic-en-excel-y-ajuste-de.html>
- ²⁶ | López Cózar José Manuel, Energía solar térmica, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid, octubre de 2006.

- John Walkenbach, Excel 2007 : programación con VBA, Anaya Multimedia, Madrid, 2007, ISBN 9788441522985
- Matthias Kohl 1, Peter Ruckdeschel, R Package distrMod: S4 Classes and Methods for Probability Models, Journal of Statistical Software, July 2010, Volume 35, Issue 10.
<http://www.jstatsoft.org/>
- Charles J. Geyer, Maximum Likelihood in R, September 30, 2003
- J. Susan Milton 1, Jesse C. Arnold 2, Probabilidad y estadística: con aplicaciones para ingeniería y ciencias computacionales, 4ª ed., México : McGraw-Hill / Interamericana, 2004 , ISBN 9701043081
- Loi Gamma, Wikipedia , http://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_Gamma
- Descripción de la función ALEATORIO en Excel 2007 y en Excel 2003, Id. de artículo: 828795, <http://support.microsoft.com/kb/828795/es>
- Función DISTR.GAMMA, Ayuda de Excel 2007
- Steven C. Chapra 1, Raymond P Canale 2, Métodos numéricos para ingenieros, México : McGraw-Hill, Traducción de la sexta edición e inglés, 2010, ISBN 9786071504999
- Peter Dalgaard, [R] MLE Estimation of Gamma Distribution Parameters for data with 'zeros', Wed Jun 11 22:40:58 CEST 2008,