

Trabajo Fin de Máster

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO OBTENIDOS CON LA PRIMERA FÓRMULA GENERALIZADA DE CLÉMENT Y LOS DATOS REALES DEL SISTEMA DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES TORRETA-SEGARRA

Intensificación: *HIDRÁULICA URBANA*

Autor:

ING. LINA MARÍA CARRERO

Director:

DRA. P. AMPARO LÓPEZ JIMÉNEZ

Codirector/es:

MSC. MODESTO PÉREZ SÁNCHEZ

Julio,2016



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título: ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DISTRIBUCION DE CAUDALES DE DISEÑO OBTENIDOS CON LA PRIMERA FÓRMULA GENERALIZADA DE CLÉMENT Y LOS DATOS REALES DEL SISTEMA DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES TORRETA-SEGARRA.

Title: COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN THE DESIGN FLOW DISTRIBUTIONS, OBTAINED FROM THE FIRST GENERALIZED CLÉMENT FORMULA AND THE REAL IRRIGATION DATA OF THE IRRIGATION COMMUNITY TORRETA-SEGARRA.

Títol: ANÀLISI COMPARATIU ENTRE LA DISTRIBUCION DE DISSENY DE CAUDALS OBTINGUTS AMB LA PRIMERA FÓRMULA GENERALITZADA DE CLEMENT I LES DADES REALS DEL SISTEMA DE REG DE LA COMUNITAT DE REGANTS TORRETA-SEGARRA.

Alumno: Ing. Lina María Carrero

Director: Dra. P. Amparo López

Codirector: Msc. Modesto Pérez Sánchez

Fecha de Lectura: Julio 2016

Resumen

En el diseño de redes de riego a la demanda, el paso principal es la determinación de los caudales circulantes por las líneas del sistema. Dada la dificultad de su cálculo, consecuencia de la alta variabilidad de los parámetros del sistema implicados, existen numerosas metodologías propuestas para la obtención de los caudales de diseño. En el presente trabajo, se comprueba en un caso concreto, el modelo habitualmente escogido por los diseñadores en todo el mundo, la Primera Fórmula de Clément, que a pesar de su sencillez de cálculo, en ciertas circunstancias, presenta desajustes debido a que las hipótesis supuestas para su desarrollo no se cumplen, en primer plano las distribuciones de gasto no siempre se presentan como una distribución normal y en segundo la igualdad de probabilidades de apertura de tomas a lo largo del sistema no es del todo cierta. Con el fin de alcanzar este objetivo, se realiza un análisis comparativo entre las distribuciones de caudal de una red de riego real perteneciente a la Comunidad de Regantes Torreta – Segarra y las propias obtenidas del cálculo de caudales teóricos con el método de Clément para la misma red. Finalmente, se analiza la posibilidad de proponer una nueva distribución de probabilidad que se ajuste mejor al comportamiento del sistema.

Palabras Clave: Redes de Riego a la demanda, Primera fórmula de Clément, Análisis estadístico.

Summary

In designing of on-demand pressurized irrigation systems, the main step is determining circulating flows along the lines of the system. Considering the difficulty of the calculation as a result of the high variability of the system parameters involved, there are several models proposed for obtaining the design flows. The aim of this work is to verify the model usually chosen by designers worldwide, the First Generalized Formula of Clement, which, despite their simplicity of calculation, in certain circumstances, presents mismatches because as the hypothesis assumed for development are not met, at first, distributions spending is not always presented as a normal distribution and, at second, equal probabilities of opening taps throughout the system, is not entirely true. In order to achieve this objective, a comparative analysis is performed between the distributions of flow of a real network that belongs to Irrigation Community of Torreta-Segarra, with the calculated theoretical distributions with the method of Clément. Finally, the possibility of proposing a new probability distribution that best fit with the behavior of the system is analyzed.

Keywords: Water Irrigation on-demand distributions, Clément's first formula, Statistical analysis.

RESUM

En el disseny de sistemes de reg pressuritzat a la demanda, el pas principal és la determinació dels cabals que circulen al llarg de les línies del sistema. Tenint en compte la dificultat del càlcul com a resultat de l'alta variabilitat dels paràmetres del sistema involucrats, hi ha diversos models proposats per a l'obtenció dels fluxos de disseny. L'objectiu d'aquest treball és verificar el model en general elegit pels dissenyadors de tot el món, la primera fórmula generalitzada de Clemente, que, malgrat la seva simplicitat de càlcul, en determinades circumstàncies, presenta desajustos a causa de que la hipòtesi assumida pel desenvolupament no es compleixen, en un primer moment, la distribució de les despeses no sempre es presenta com una distribució normal i, en segon, la igualtat de probabilitats d'obrir les aixetes en tot el sistema, no és del tot cert. Per aconseguir aquest objectiu es realitza una anàlisi comparativa entre les distribucions de cabals d'una xarxa real que pertany a la Comunitat de reg Torreta-Segarra, amb les distribucions teòriques calculades amb el mètode de Clément. Finalment, s'analitza la possibilitat de proposar una nova distribució de probabilitat que s'ajusti millor amb el comportament del sistema.

Paraules Clau: Xarxes de Reg a la demanda, Primera fórmula de Clément, Anàlisi estadístic.

TABLA DE CONTENIDOS

Resumen del Trabajo de Fin de Máster	1
1 INTRODUCCIÓN	8
2 ESTADO DEL ARTE.....	10
2.1 Métodos de cálculo de la distribución de caudales en una red de riego.....	14
2.1.1 Primera Formula de Clément	14
2.1.2 Formula de Boissezon y Haït	17
2.1.3 Primera Formula Generalizada de Clément (PFG)	20
2.1.4 Segunda Formula Generalizada de Clément	21
2.1.5 Trabajos recientes	24
3 OBJETIVOS	27
3.1 Objetivos Específicos.....	27
4 METODOLOGIA.....	28
4.1 Input 1: Volúmenes registrados en las tomas (C_i) - Consumos reales	29
4.2 Volumen consumido medio diario en cada toma (V_{di}).....	29
4.3 Input 2: Dotación Unitaria de riego (d_i).....	29
4.4 Caudales asignados a las tomas (q_{di}).....	31
4.5 Tiempos de riego (t_{ri}).....	32
4.6 Parámetros teóricos de Clément: media (μ) y desviación estándar (σ).....	32
4.7 Distribuciones Normales teóricas de caudales en la red	33
4.8 Input 3. Caudales registrados en la línea principal de la red	33
4.9 Determinación de las frecuencias mensuales observadas.....	33
4.10 Comparación estadística entre datos reales y teóricos	34
4.10.1 Pruebas gráficas	34
4.10.2 Pruebas de Bondad de Ajuste	37
4.11 Análisis de resultados del ajuste de los datos observados a la distribución teórica.....	42
4.12 Transformación de Datos	42
4.13 Análisis de resultados del ajuste de los datos observados transformados a la distribución teórica.....	43
4.14 Verificación del Modelo Teórico	43
4.15 Prueba de ajuste de los datos observados a otras distribuciones teóricas (Fit Distribution).....	43
4.15.1 Máxima Verosimilitud y Criterios de información	45
4.15.2 Distribuciones Continuas Probadas.....	47
5 RESULTADOS.....	51

5.1	Caso de estudio	51
5.2	Resultados según la Metodología Aplicada.....	53
5.2.1	Input 1: Volúmenes registrados en las tomas (C_i) - Consumos reales	53
5.2.2	Volumen consumido medio diario en cada toma (V_{di}).....	55
5.2.3	Input 2: Dotación Unitaria de riego (d_i).....	55
5.2.4	Caudales asignados a las tomas (q_{di}).....	57
5.2.5	Tiempos de riego (t_{ri}).....	58
5.2.6	Parámetros teóricos de Clément: media (μ) y desviación estándar (σ).....	59
5.2.7	Distribuciones Normales teóricas de Clément	61
5.2.8	Input 3: Caudales observados en la línea principal de la red	61
5.2.9	Tablas de Frecuencia de los datos observados	63
5.2.10	Comparación estadística de los datos reales y teóricos.....	64
5.2.11	Análisis de resultados del ajuste de los datos observados a la distribución teórica.....	74
5.2.12	Transformación de datos.....	74
5.2.13	Análisis de resultados del ajuste de los datos observados transformados a la distribución teórica.	75
5.2.14	Prueba de ajuste de los datos observados a otras distribuciones teóricas (Fit Distribution).....	75
6	DISCUSIÓN.....	78
7	CONCLUSIONES	81
	BIBLIOGRAFIA	83

Índice de Anexos

ANEXO 1 : CARACTERÍSTICAS TOMAS DE LA RED	87
ANEXO 2 : CURVA DE NECESIDADES DE RIEGO	92
ANEXO 3 : CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LA DISTRIBUCIÓN DE CLÉMENT.....	94
ANEXO 4 : PRUEBAS GRÁFICAS	105
ANEXO 5 : PRUEBA CHI-CUADRADO Y TEST G.....	118
ANEXO 6 : TEST DE KOLMOGOROV – SMIRNOV	131
ANEXO 7 : TRANSFORMACIÓN DE DATOS	144
ANEXO 8 : PRUEBAS DE AJUSTE PROBABILÍSTICO.....	157

Índice de Figuras

Figura 1. Caudal servido por los hidrantes en funcionamiento en un instante determinado.	24
Figura 2. Curvas de demanda diaria aleatoria y envolvente de caudales.....	25
Figura 3. Metodología propuesta en la presente investigación	28
Figura 4. Histograma tipo de frecuencias relativas. Valores de Asimetría y Curtosis	34
Figura 5. Gráfico QQ-plot	36
Figura 6. Esquema tipo prueba Chi-cuadrado.....	38
Figura 7. Esquema test K-S.....	41
Figura 8. Localización y trazado de la red de riego	51
Figura 9. Distribución de las parcelas por tamaño.....	52
Figura 10. Evolución temporal del caudal demandado en 4 tomas de la red. Caudal total mensual en la red.....	54
Figura 11. Frecuencias relativas de volumen mensual para cuatro meses en fases de crecimiento diferentes.....	55
Figura 12. Distribución de las variables: precipitación efectiva (Pe), evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de riego (NR).....	56
Figura 13. Necesidades de riego para níspero – Datos observados	57
Figura 14. Tiempos de riego mensual para tres tomas de la red.....	58
Figura 15. Probabilidad de apertura mensual para tres tomas de la red	59
Figura 16. Probabilidad promedio mensual de todas las tomas de la red	60
Figura 17. Distribución normal de Clément - mayo	61
Figura 18. Datos de caudales registro cinco-minutal – abril	61
Figura 19. Datos de caudales registro cinco-minutal – diciembre	62
Figura 20. Distribución semanal del volumen mensual inyectado.	62
Figura 21. Evolución diaria de la demanda.	63
Figura 22. Gráfica de frecuencias observadas - enero.....	64
Figura 23. Histograma de frecuencias observadas. Ejemplo del mes de febrero.....	64
Figura 24. Distribuciones de frecuencias observadas y teóricas – Ejemplo mes de febrero... ..	66
Figura 25. Distribuciones de frecuencias observadas y teóricas. Ejemplo del mes de mayo.. ..	66
Figura 26. Gráfico de probabilidad. Ejemplo de Q-Q plot del mes de febrero	67
Figura 27. Gráfico de probabilidad . Ejemplo de Q-Q plot del mes de mayo	68
Figura 28. Gráfico de probabilidad. Ejemplo de Q-Q plot del mes de abril.....	69
Figura 29. Prueba Chi-cuadrado – Ejemplo mes de julio	70
Figura 30. Prueba Chi-cuadrado – Ejemplo mes de mayo	71
Figura 31. Test K-S. Ejemplo del mes de mayo 2015.	73
Figura 32. Test K-S. Ejemplo del mes de julio 2015.	73
Figura 33. Transformación de datos – Ejemplo mes de abril.....	75
Figura 34. Ajuste probabilístico de datos observados: a) abril b) mayo.....	76

Índice de Tablas

Tabla 1. Valores de la garantía de suministro usadas para el diseño de la red.	16
Tabla 2. Tabla de valores $H(U')$ y $U'H(U')$	22
Tabla 3. Distribuciones continuas a probar.	44
Tabla 4. Datos de superficie, parcelas e hidrantes de la red.	52
Tabla 5. Cálculo de dotaciones por hectárea en función del marco característico.	57
Tabla 6. Parámetros de la distribución de caudales de Clément.	60
Tabla 7. Resumen mensual de las medidas de Curtosis y Asimetría datos observados.	65
Tabla 8. Resultados prueba χ^2	69
Tabla 9. Resultados test G.	71
Tabla 10. Resultados mensuales test K-S.	72
Tabla 11. Resumen ajuste de los datos observados.	77
Tabla 12. Criterios de información para la selección del modelo de ajuste.	77

1 INTRODUCCIÓN

Una red de riego diseñada como un sistema de flujo a presión a la demanda, se define como el método de acceso y distribución del agua por el cual, los regantes hacen uso del recurso para satisfacer las necesidades hídricas de sus cultivos, con total libertad y en condiciones de presión y caudal suficientes para cubrir las exigencias de riego de sus parcelas. En estos sistemas de distribución, los agricultores no están limitados a un turno de riego restringido, sino que el agua está disponible en todo momento en la red teniendo el regante acceso al caudal y presión suficientes sin ninguna restricción, durante todo el año las 24 horas de todos los días (Losada, 1997).

La posibilidad de contar con los caudales de agua necesarios para regar en todas las tomas según las necesidades de cada parcela, pasa por la capacidad de la red de riego de responder a las demandas aleatorias de los usuarios. Así, el proyecto de un sistema de riego, como cualquier obra de infraestructura hidráulica, parte de asignar los caudales de diseño para cada tramo de la red. Estos, altamente variables en el tiempo, dependen directamente de: las características propias de cada parcela (superficie y estructura de la instalación interior fundamentalmente), los patrones de cultivo, las condiciones meteorológicas, la eficiencia del riego y el comportamiento de los usuarios (Lamaddalena et al., 2000).

Debido a la alta incertidumbre de los parámetros implicados en el cálculo de dichos caudales, y la importancia creciente del desarrollo, a gran escala, de los cultivos intensivos en todo el mundo desde 1960, diversas metodologías han sido propuestas para establecer los caudales que circulan por las líneas que conforman las redes de distribución de riego. Muchas de ellas, sientan sus bases en los desarrollos del francés René Clément (1966), el cual esquematiza el caudal de demanda con una determinada garantía de suministro, a través de modelos probabilísticos que definen el comportamiento de los usuarios de las redes de riego.

Clément propuso dos modelos matemáticos para enfrentar el problema. De una parte, propuso un modelo estadístico basado en la hipótesis de la distribución Normal de los caudales en una red de riego y su funcionamiento conjunto. Esta hipótesis se basaba en la suma estadística del comportamiento de los usuarios, razonamiento que lo condujo a la denominada "*primera fórmula generalizada*" (PFG) (Clément, 1966; Granados, 2013).

Por otro lado, con el objetivo de ganar exactitud en el cálculo, abordó de forma diferente el problema y planteó la denominada "*segunda fórmula generalizada*" (SFG) (Clément, 1966), realizando el cálculo de los caudales circulantes en el sistema basándose en un modelo estocástico de nacimiento y muerte, siendo el comportamiento de los usuarios del sistema una sucesión de eventos en el tiempo. Estos eventos aparecen (apertura de tomas) y desaparecen (cierre) con un tiempo de vida determinado, igual a la duración del tiempo de riego (Clément, 1966). Sin embargo, a su mismo criterio, a pesar de la mayor complejidad de esta fórmula, su aplicación no aporta grandes diferencias respecto a la primera metodología.

El presente trabajo se centra en la PFG, siendo esta la más utilizada a escala mundial para el diseño de redes de riego debido a su simplicidad a la hora de aplicarla, teniendo en cuenta que, incluso a ojos de su autor, los resultados obtenidos pueden llevar a inexactitudes en el diseño de la red, lo que se refleja en las diferencias encontradas entre los valores de caudal calculados y los caudales reales, dado que en la realidad las hipótesis iniciales planteadas para su desarrollo no son del todo exactas (Clément, 1966; de Boissezon et al., 1965; Moreno et al., 2005; Pulido-Calvo et al., 2003; Soler et al., 2016).

2 ESTADO DEL ARTE

En la actualidad, los sistemas de riego localizado (micro aspersión y goteo), son ampliamente utilizados debido a las ventajas que aportan en cuanto a: simplicidad de operación, garantía de suministro y alta eficiencia del uso del agua. El aumento de la eficiencia hídrica participa de forma activa en la resolución de los problemas generados por la alta presión y competencia que se mantiene sobre los recursos hídricos. Maximizar los rendimientos en la producción agraria y la necesidad de plantear el uso sostenible de los escasos recursos hídricos, viene marcando la tendencia crítica hacia la modernización de las técnicas de riego tradicionales, siendo reemplazadas por sistemas de riego presurizados eficaces y más eficientes (Lamaddalena et al., 2000).

El establecimiento de una zona de riego agrícola comprende un proceso, en el que teniendo en cuenta aspectos económicos y técnicos, se debe conseguir instalar la red más óptima y eficiente, acorde a: las necesidades del cultivo, los recursos y los comportamientos de los usuarios. Las etapas iniciales del diseño concluyen con la definición de las alternativas de cultivo y la parcelación de la zona de riego. Esta fase incluye los estudios de base de tipo económico, edafológico y climatológico del ecosistema donde se pretende establecer la plantación (Labye et al., 1996).

El proyectista de un sistema de riego a presión debe decidir con antelación, la modalidad de funcionamiento de la red, según sea la forma de entrega de agua, bien bajo la condición de funcionamiento por turnos de riego o bien por riego a la demanda o con demanda restringida (Clement et al., 1986).

Es habitual considerar las ventajas prácticas funcionales del riego a la demanda sobre la implementación de turnos de riego. El primer método otorga flexibilidad total al sistema (siempre y cuando esté dimensionado para ello), permitiendo a los usuarios disponer del recurso con total libertad. La apertura de las tomas se decide en función de las necesidades hídricas (variables según cultivo) que dependen tanto de la fase de crecimiento, de las variables climáticas de la zona y del diseño de los programas de riego que más convengan a los agricultores, incluso cuando se presenten modificaciones de la alternativa de cultivo prevista durante el diseño (Granados, 1986; Granados, 2013).

Un razonamiento añadido a la selección del riego a la demanda, es que al implementar un número de turnos suficiente para reducir los diámetros de las tuberías instaladas frente a un diseño a la demanda, a la par de añadir incomodidad a los agricultores, sólo se conseguiría la disminución en los tramos terminales de la red, mientras que en los tramos principales, de mayor tamaño y por ende más costosos económicamente, apenas se encontrarían diferencias. Este hecho conlleva a que la reducción económica no sea tan importante frente a las ventajas de flexibilidad planteadas a la demanda (Alduán et al., 2009). Con base en estas reflexiones, y visto el alto potencial que ofrecen las redes colectivas a la demanda para los usuarios, frente a otros tipos de irrigación, es habitual que los regantes seleccionen esta modalidad de riego, sobretodo en redes de distribución por gravedad.

Posterior a la decisión del tipo de funcionamiento de la red, el proyectista ha de precisar los puntos donde el agua deberá entregarse, y con ello, realizar un trazado preliminar de la red, en general de tipo ramificado, que permita la entrega desde cabecera hasta las tomas de riego buscando encontrar una solución eficaz, eficiente y de mínimo coste de explotación (teniendo en cuenta para ello tanto los costes de amortización como de explotación anuales). Además, la solución ha de tener en cuenta las diferentes variables del sistema tanto internas como externas de tipo: topográfico, geológico, topológico y social (Granados, 1986; Clément et al., 1990). También se han de definir los parámetros de riego que definen el margen de seguridad con que se pretende abastecer el riego.

Conocidas las necesidades de los cultivos a implantar o implantados en la zona objeto a modernizar, los parámetros de riego constituyen el punto de partida para definir el dimensionamiento de la red y han de ser precisadas por el proyectista con el fin de concretar la forma como se va a proveer el agua a los usuarios (Granados, 1986). Los parámetros a definir en sistemas de riego a la demanda son (Clement et al, 1986; Granados, 2013):

a) Caudal ficticio continuo unitario (q_s): Se define como el caudal por hectárea que se suministraría para satisfacer las necesidades del cultivo suponiendo que el riego se hace de forma continua durante todo el tiempo disponible. Para redes dimensionadas a la demanda, se correspondería con el caudal correspondiente de dividir el volumen necesario de riego durante el día de máximas necesidades (Necesidades de riego) entre las 24 horas de duración del día.

Conocidas las necesidades de riego más exigentes a partir de los estudios agronómicos hechos para tal efecto, y la totalidad del período punta, su cálculo se define mediante la expresión (1):

$$q_s = \frac{V}{T} \quad (1)$$

Donde: q_s es el caudal ficticio continuo unitario en l/(s ha). V es el volumen total de agua precisado por el cultivo en el período de máxima demanda en m^3/ha y T el tiempo disponible para el riego del total de dicho período (coincidiendo este con la totalidad del período punta).

También es posible definir el caudal ficticio en función de las necesidades de riego del cultivo en la fase de implantación de la zona de riego (Planells et al., 1999) tal como se expresa mediante la ecuación (2):

$$q_s = N_R \frac{10000}{86400} \quad (2)$$

Donde: N_R son las necesidades de riego de la alternativa de cultivo de la zona (mm/día), 10000 ($m^2/día$), 86400 (s/día).

b) Grado de libertad (GL): Representa el coeficiente de seguridad o grado de elasticidad dado a los agricultores a la hora de organizar el riego de su parcela. Se refiere a la relación

entre el caudal del que efectivamente dispone el usuario asignado en la toma (caudal tarado), y el caudal ficticio continuo que se aplicaría si se regara las durante 24 horas.

Como es un indicador del exceso de agua aportado que permite reducir el tiempo de riego durante el período punta, otro modo de definirlo es mediante la relación entre el tiempo disponible para el riego (las 24 horas para riego a la demanda) (t) y el tiempo de riego en que el agricultor debería tener en funcionamiento la toma diariamente para proveer el agua necesaria a las plantas de la alternativa de cultivo seleccionado en el periodo de máximo consumo (t'). Esta relación queda determinada por la ecuación (3):

$$GL = \frac{t}{t'} \quad (3)$$

El tiempo de riego (t') depende de la dotación de riego asignada a la parcela, entendida como el agua solicitada a la red por la toma cuando se encuentra en funcionamiento, según el diseño agronómico que se ha de realizar o realizado previamente. Este caudal depende de la alternativa de cultivo seleccionada y ha de satisfacer las necesidades brutas del cultivo. Dichos términos se aclararán en apartados posteriores.

Según Labye (1988) la estimación del Grado de Libertad está condicionado por el tamaño de la parcela y la tecnología disponible, debiéndose adjudicar un valor menor de GL cuanto mayor es la superficie o mejor equipada se encuentra. Granados (1986) adjudica valores que varían entre 1.5 y 6.

c) Rendimiento (r): Tal y como lo planteó Clément (1966) para el desarrollo de su primera fórmula de cálculo de caudales, es posible que la red no esté funcionando durante todo el período punta y definió este coeficiente como la relación entre el tiempo de operación real de la red y el tiempo total del período de mayor sollicitación del sistema (ecuación (4)):

$$r = \frac{T'}{T} \quad (4)$$

Donde T' corresponde al tiempo de operación real de la red y T a la duración del período punta.

Este parámetro responde a la necesidad de dar seguridad al sistema ante demandas superiores a las estrictamente necesarias, permitiendo cubrir caudales superiores a los previstos, propiciados por modificaciones climatológicas, cambio de las alternativas de cultivo inicialmente definidas, simultaneidad en la apertura de hidrantes superior a la supuesta, fugas del sistema (Granados, 2013). Este parámetro cobra mucha importancia en los sistemas que son inyectados al 100%, consecuencia de la discriminación horaria en la tarificación energética. Para redes que trabajan por gravedad, es posible asignar el valor de 1 a este parámetro, ya que la red estará disponible todo el tiempo durante la duración del periodo punta (24 horas de 24 horas del día).

d) Garantía de Suministro (GS): Denominada también calidad de operación de la red, hace referencia al nivel de seguridad dado a la red para satisfacer la demanda simultánea de “ N ” tomas (Clément, 1966). El valor asignado por el proyectista, representa el porcentaje de probabilidades existente de que el número de tomas abiertas en la red en un mismo instante t , durante el período de máximo consumo, sea menor o igual que N (siendo el valor de N inferior al número total de tomas que componen la red) y por tanto, no se demande a la red, caudales que superen a los de diseño (Clément et al, 1986).

El manual N° 59 de la FAO (2000), recomienda valores entre 95% y 99% para GS, con el fin de evitar fallos inaceptables a la hora de cubrir la demanda en ciertas partes de la red.

Tras definir la forma en qué se entregará el caudal a los usuarios y definidos los parámetros de riego pertinentes, es necesario estimar la distribución de caudales a lo largo de cada línea de la red, lo cual constituye uno de los pasos más importantes del diseño (Labye, 1988). Como se ha indicado, en la entrega a la demanda, el agricultor dispone de una o varias tomas conectadas a la red de distribución que utiliza a voluntad, en los días y horas que a bien estime necesario hacerlo, en función de: las condiciones climáticas, los patrones de cultivo, los períodos de crecimiento, y el propio comportamiento individual de los agricultores. Tal entrega de caudal es por tanto aleatoria y hace imposible determinar con anterioridad, y de manera absoluta, cuáles y cuántos hidrantes estarán abiertos de forma simultánea y cuando lo estarán. La alta incertidumbre que representan los caudales circulantes por la red, hace que su cálculo sea un trabajo complejo que se resuelve a través de métodos estadísticos que han sido revisados de manera extensa por múltiples investigadores (Clément, 1966; de Boissezon et al., 1965; Granados, 1986; Lamaddalena et al., 2000; Moreno, Planells et al., 2007; Pulido et al., 2009).

Dado que el caudal asignado mayormente es estrictamente necesario para cubrir los requerimientos del cultivo (Clément et al., 1986), no parece lógico pensar que todos los usuarios tendrán que abrir su toma durante todo el tiempo disponible y de forma simultánea. A la par de este criterio, es evidente que se reducen los períodos de riego necesarios para cubrir las necesidades de cada parcela y por tanto, plantear la situación más desfavorable correspondiente a la acumulación de todas las demandas, escenario en el que todas las tomas se encontrarían abiertas a la vez en los diferentes tramos del sistema, llevaría a un sobre dimensionado de la red poco probable (Lamaddalena et al., 2000).

Para resolver el diseño a través de los modelos de ajuste estadístico, se pretende definir el comportamiento del sistema en la situación más desfavorable, es decir, garantizar cubrir la demanda de caudal pico correspondiente a la apertura simultánea del mayor número posible de tomas, valor que será inferior al de la totalidad de las tomas que componen la red proyectada.

A continuación, se hace una revisión de algunas metodologías usadas en el cálculo de caudales de riego con fines de diseño de redes a presión

2.1 Métodos de cálculo de la distribución de caudales en una red de riego

2.1.1 Primera Formula de Clément

El modelo estadístico para determinar los caudales circulantes por una red de riego que actualmente sigue siendo de uso generalizado, apareció formulado teóricamente en el año 1955 y posteriormente fue verificado de forma experimental por su autor, René Clément (Clément, 1955).

En primera instancia, se supone un sistema de riego con R tomas aguas abajo del tramo de estudio a las cuales se les ha asignado un caudal de demanda q_d . Se plantean como hipótesis iniciales la homogeneidad e independencia de funcionamiento de todas las tomas del sistema y la igualdad de probabilidades de apertura de dichas tomas en un instante dado.

Los caudales máximos demandados para el período punta que tendrá una duración T (meses o semanas punta) serán determinados por las características hidro-climáticas y agrícolas inherentes a: los patrones de cultivo, el suelo, la época del año, entre otros. En general, se puede decir que este período se sitúa en los meses de verano, donde las necesidades del cultivo son muy superiores a otras temporadas del año.

Si se define q_s' , como el caudal ficticio continuo demandado por los cultivos correspondientes al período punta del total de área irrigada, el caudal medio unitario durante el período real de utilización de la red, teniendo en cuenta el rendimiento, se puede definir la ecuación (5):

$$q' = \frac{q_s'}{r} \quad (5)$$

Donde: q' es el caudal unitario medio (l/s), r el rendimiento de la red.

Siendo $\frac{q' T'}{R}$, el volumen de agua media que debe servir cada toma durante el tiempo disponible de la red, se puede calcular el tiempo medio de apertura de una toma, t' , como la relación entre el volumen a servir y el caudal de dotación asignado, q_d de forma que según la ecuación (6):

$$t' = \frac{q' T'}{R q_d} \quad (6)$$

Determinado el tiempo de riego y aceptando el comportamiento aleatorio e independiente de las tomas durante el período T' , la probabilidad de funcionamiento de estas, determinada por la ecuación (7), se define como la probabilidad de que una toma esté abierta en un instante t tal que la relación del cociente entre el tiempo de apertura medio de la toma y el tiempo efectivo de funcionamiento de la red:

$$p_i = \frac{t'}{T'} = \frac{q_s'}{r R q_d} \quad (7)$$

Aceptando que cada toma puede estar bien abierta o bien cerrada, la probabilidad de que dicha toma se encuentre cerrada en el instante t es según la expresión (8):

$$q_i = 1 - p \quad (8)$$

Dado que para este primer acercamiento se consideran todas las tomas iguales, tanto la probabilidad de apertura y cierre será también igual para todas.

El número total de tomas abiertas al mismo tiempo en el sistema, se define como una variable aleatoria que sigue la ley de distribución binomial **[Bin ~ (R, p)]**, de una muestra de R elementos (tomas), con probabilidad de éxito p , probabilidad de que una toma se encuentre abierta para un instante de tiempo t , cuya media es Rp y su varianza Rpq .

De tal forma, se define la probabilidad de que de la red de las R tomas existentes haya x de ellas funcionando de forma simultánea (ecuación (9)) en función de la probabilidad de apertura (7) y de cierre (8) tal que:

$$p(x) = P(X = x) = \binom{R}{x} p^x q^{R-x} \quad (9)$$

Donde $\binom{R}{x}$ es la combinación de x elementos tomados del conjunto R , según la expresión (10):

$$\binom{R}{x} = \frac{R!}{x!(R-x)!} \quad (10)$$

Si una red está diseñada para que no puedan estar abiertas más que N tomas de manera simultánea (siendo $N < R$), la probabilidad acumulada para que haya como máximo estas N tomas en funcionamiento, es decir la probabilidad que garantiza que en el tramo analizado se cubra la demanda se define según la expresión (11):

$$P_q = \sum_{i=0}^{i=N} \binom{R}{i} p^i q^{R-i} \quad (11)$$

Donde $\binom{R}{i}$ es la combinación de las “ i ” tomas tomadas del conjunto R ,

P_q representa la calidad de funcionamiento del sistema, que responde a la demanda para la cual ha sido diseñado. Su complementario, $1 - P_q$, representa la probabilidad de saturación del sistema, ya que si el sistema está sirviendo las N tomas para las cuales ha sido diseñado funcionar en un determinado instante t , no podrá satisfacer ninguna más que pretenda abrir en ese mismo instante.

Si se tiene un sistema pequeño, es posible calcular el valor de N , número de tomas posible a funcionar simultáneamente, para una red dada, otorgando un valor a P_q , en general, entre 0,95 y 0,99. De esta forma la red dimensionada ha de garantizar que se suministra el caudal de diseño, $N q_d$, para un máximo de tomas abiertas en la totalidad de la red.

Si el sistema se hace “suficientemente grande” (recomendable asumir sistemas superiores a 10 tomas (Clément et al., 1990)), es posible asimilar el cálculo de probabilidades de la

distribución binomial de la ecuación (9) a la ley de probabilidad de distribución Normal o Ley de Gauss, $[N \sim (0, 1)]$, aplicando el teorema del límite central, el cual afirma que ante una muestra numerosa de variables independientes que siguen un mismo modelo de distribución (para el caso la distribución binomial), la suma de las variables se aproxima a la distribución Normal (Navidi, 2006).

Dicha aproximación a la distribución Normal estándar, de media 0 y varianza 1, se puede realizar por medio de tipificar la variable x (número de tomas abiertas en un instante “ t ” como una variable U , de forma que según la ecuación (12 para la variable U):

$$U = \frac{x - Rp}{\sqrt{Rpq}} \quad (12)$$

Es posible calcular la probabilidad acumulada para valores menores o iguales que la variable tipificada U . Dichos valores corresponden a los tabulados de la Distribución Normal Acumulada o tabla normal estándar (Navidi, 2006). Para el caso, dicha distribución definiría la función $F(U)$.

De esta manera la Función acumulada, $F(U)$, representa la probabilidad que un número menor o igual de que x tomas, estén abiertas en un instante t a lo largo del sistema. Dicha probabilidad acumulada corresponde a la cuantificación de la calidad de funcionamiento del sistema (Garantía de Suministro ($G.S.$)), parámetro que regula la posibilidad de satisfacer el suministro con cierto valor de probabilidad, cuando varios usuarios coinciden en un instante t (Losada, 1997). Despejando la variable x de la ecuación (12) se muestra la expresión (13) tal que:

$$x = Rp + U\sqrt{Rpq} \quad (13)$$

Considerando que el número de tomas abiertas puede ser como máximo N , se obtiene la relación (14):

$$N = Rp + U\sqrt{Rpq} \quad (14)$$

Al elegir un valor para dicha GS , se obtiene el valor para U mediante la relación de la variable estandarizada y su probabilidad asociada, dada por los valores tabulados de la Distribución Normal Acumulativa que se muestra en la Tabla 1.

PROBABILIDAD	G.S. %	U
0,99	99	2,324
0,98	98	2,052
0,97	97	1,881
0,96	96	1,753
0,95	95	1,645

Tabla 1. Valores de la Garantía de Suministro usadas para el diseño de la red.

Reemplazando las definiciones de las probabilidades de apertura (7) y cierre (8) de las tomas en la expresión (14) se obtiene el valor de N según la ecuación (15):

$$N = \frac{q_{s'}}{r q_d} + U \sqrt{\frac{q_{s'}}{r q_d} \left(1 - \frac{q_{s'}}{r R q_d}\right)} \quad (15)$$

El caudal circulante por el tramo de estudio se obtiene de multiplicar el número máximo posible de tomas a abrir simultáneamente en la red (15) por el caudal de demanda medio asignado a las tomas, según la expresión (16):

$$Q = N q_d = \frac{q_{s'}}{r} + U \sqrt{\frac{q_{s'} q_d}{r} \left(1 - \frac{q_{s'}}{r R q_d}\right)} \quad (16)$$

Caudal para un número de tomas N funcionando de forma simultánea y una calidad de funcionamiento correspondiente para al valor de la variable U .

En términos de las probabilidades de apertura y cierre y del caudal de demanda asignado, se presenta la primera fórmula de Clément (17) como:

$$Q = R p q_d + U \sqrt{R p q_d^2 q} \quad (17)$$

2.1.2 Formula de Boissezon y Haït

Posterior a la fórmula básica enunciada en 1955, los también Ingenieros franceses Boissezon y Haït, en el interés de superar las simplificaciones inherentes a los supuestos planteados por Clément para su desarrollo, realizaron un trabajo de investigación que repercutió en la extensión del método estándar.

Debido a la reconocida inexactitud que encontraban los proyectistas, en el cálculo de caudales de diseño con la ecuación primera de Clément, la cual debía ser ajustada por éstos de forma 'más o menos empírica', dichos autores se plantearon perfeccionar el planteamiento original. Los resultados de sus estudios fueron publicados en 1965, en un trabajo en el que sugieren que los errores de cálculo surgen debido a que en la realidad las hipótesis base de la metodología: dotaciones iguales y probabilidades de funcionamiento uniformes para todas las tomas, no son estrictamente ciertas (de Boissezon et al., 1965).

La idea planteada por los autores en su artículo establece que las ponderaciones tipo Clément, solo resultan exactas si se suponen los mismos caudales por toma y la misma frecuencia de operación para todas las tomas, así como demandas individuales independientes y un número lo "bastante grande" de tomas para asimilar la distribución de caudales a la Normal (de Boissezon et al., 1965). Teniendo en cuenta lo comentado, se plantean abordar el cálculo de caudales con un nuevo enfoque menos generalista el cual, con el desarrollo de los ordenadores, permitía implementar cálculos más complejos que integrasen un mayor número de datos en cuanto a las características agronómicas diversas de cada parcela.

En primera instancia se realizó una clasificación de las parcelas a través de la combinación de dos parámetros característicos: La tasa de riego y la posibilidad de uso del riego.

La tasa de riego, T_r , se define como la ratio entre la superficie irrigada de la parcela (S_i), que se encuentra cultivada (por tanto, es regada en cada campaña) y la superficie equipada (S_e) según la ecuación (18):

$$T_r = \frac{S_i}{S_e} \quad (18)$$

Esta última, superficie equipada, es considerada generalmente igual a la superficie agrícola útil, potencialmente utilizable.

La posibilidad de riego de la parcela, α , se explicó como la relación entre el número de años en que la parcela es regada y el número de años considerados.

Con estos dos criterios, las parcelas se dividen en dos categorías: parcelas tipo *A*, con tasa de riego constante para cada año (100% si se riegan en su totalidad o menor en función de la rotación de cultivos aplicada al interior de las parcelas) y con posibilidad de riego siempre igual a 1 (se riegan todos los años considerados); y parcelas tipo *R*, pequeñas parcelas aisladas que hacen parte de una explotación mayor, en las cuales asumiendo que los cultivos adoptados ocupan la integridad de la superficie, en función de la rotación de cultivo adoptado o bien se riegan en su totalidad algunos años ($T_r=100\%$) o bien no se riega en otros años ($T_r=0\%$). Así mismo la posibilidad de riego para estas parcelas tendrá valores en función de la rotación de cultivos definida en la explotación ($\alpha \leq 1$).

De cualquier forma, se asume que en esta clasificación puede haber matices pudiendo tener de forma simultánea valores de T_r menores a 100%, para parcelas que no se riegan por completo y de α menores de 1 si además no se riega todos los años (de Boissezon et al., 1955).

El caudal de dotación que se asigna a cada toma, q_{di} , se define para una $T_r = 100\%$, y se refiere al caudal que posibilita cubrir las necesidades del cultivo más exigente en el mes punta, para la totalidad de la superficie agrícola útil de la parcela, que ha de suministrarse durante el tiempo en que el usuario puede efectivamente regar (tiempo disponible de la red).

Se considera que cada una de las tomas del sistema puede ser definida en términos de sus parámetros propios: frecuencia promedio de apertura, λ_i y duración media de funcionamiento, $\frac{1}{\mu_i}$ y el propio caudal asignado, q_{di} .

Así, con un razonamiento matemático similar al usado para la primera fórmula de Clément, en primera instancia, los autores determinan que la probabilidad de funcionamiento para cada toma, p_i , en un instante dado t durante el mes punta, se puede definir como el ratio entre el tiempo medio de funcionamiento de cada toma " i ", t_i , necesario para cubrir las necesidades del cultivo de la parcela donde está instalada y la duración efectiva de servicio del tramo donde está instalada dicha toma, T' . En segunda instancia, relacionaron esta probabilidad de

apertura (p_i) y su complementaria (q_i), con los parámetros característicos de cada toma, de tal forma que la probabilidad de que una toma se encuentre en servicio en el período de máxima demanda queda definida como (19) y la probabilidad de que no lo esté como (20):

$$p_i = \frac{t_i}{T'} = \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} \quad (19)$$

$$q_i = 1 - p_i = \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} \quad (20)$$

Para el cálculo del caudal total demandado, Q , para el tramo de estudio al cual están conectadas R tomas, en un instante dado y con el fin de extender la formulación hecha por Clément, implementaron la suma estadística de las demandas de caudal de cada toma suponiendo un comportamiento independiente para cada una de ellas y por tanto la posibilidad de agregar los caudales asignados a las mismas, de tal forma que dicho caudal puede expresarse según la suma de los caudales de cada una, tal y como define la expresión 21:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_i + \dots + Q_R \quad (21)$$

Donde Q_i es una variable aleatoria tal que:

- a) $Q_i = q_{di}$, con probabilidad p_i
- b) $Q_i = 0$, con probabilidad q_i

Asumiendo que el sistema es “suficientemente grande”, se define dicha suma estadística de caudales de forma agregada bajo las leyes de la Distribución Normal, tal como se muestra en la expresión (22):

$$Q = \sum_{i=1}^R p_i q_{di} + U \sqrt{\sum_{i=1}^R p_i q_i q_{di}^2} \quad (22)$$

Siendo U la variable Normalizada de los caudales demandados.

Por otro lado, los autores introdujeron el término que define la posibilidad de uso de riego de una parcela “ i ”, α_i , condicionando las probabilidades de funcionamiento y no funcionamiento de una toma, al hecho de que esta sea regada un año o no, en función de la rotación de cultivos prevista (Boissezon et al., 1995).

Es decir las probabilidades de uso y cierre de las tomas quedan definidas de forma condicionada como:

- a) p_i = Probabilidad de funcionamiento de la toma, sabiendo que esta es utilizada durante la campaña de riego.
- b) q_i = Probabilidad de no funcionamiento de la toma, sabiendo que esta es utilizada durante la campaña de riego.

Se puede deducir que la probabilidad de que la toma esté en funcionamiento en un instante t , está condicionada tanto a que la toma esté en funcionamiento ese año como a que esté abierta en dicho instante tal como se expresa en las ecuaciones (23) y (24):

$$\Pr(Q_i = q_{di}) = \alpha_i p_i = p'_i \quad (23)$$

$$\Pr(Q_i = 0) = 1 - p'_i = q'_i \quad (24)$$

Siendo Q_i el caudal calculado que queda también condicionado a esta posibilidad de uso.

Introduciendo estas condiciones en la ecuación (22), la expresión final de la Ecuación de Boissezon y Haït para el cálculo de caudales en el sistema de riego queda definida según la Ecuación (25):

$$Q = \sum_{i=1}^R p'_i q_{di} + U \sqrt{\sum_{i=1}^R p'_i q'_i q_{di}^2} \quad (25)$$

2.1.3 Primera Formula Generalizada de Clément (PFG)

Como se mencionó, la fórmula básica de Clément fue desarrollada bajo la premisa de tomas homogéneas y asignación de caudal igual para todas. Sin embargo, tal y como lo plantearon los autores Boissezon y Haït del apartado anterior, en la realidad, los caudales que se ponen a disposición de los usuarios son variables en función de los tamaños de las parcelas y las características propias de los cultivos de cada una.

Finalmente, el mismo Clément (1966), modificó la fórmula primera, (17), clasificando las R tomas del sistema en clases, subconjuntos compuestos por tomas de igual caudal asignado q_d , para luego aplicar la ecuación básica de forma agregada, definiendo el caudal punta, según la expresión (26):

$$Q = \sum R_j p_j q_{dj} + U \sqrt{\sum p_j q_j q_{dj}^2} \quad (26)$$

Siendo el subíndice j el indicador de clase de caudal q_{dj} , en las que están incluidas R_j tomas, con probabilidad de funcionamiento p_j para cada una de ellas.

Esta ecuación se aplica tanto al sistema completo como a subconjuntos del mismo, tramos de estudio. Incluso, según Clément, se puede hacer la división del ensamblaje total, hasta considerar cada toma como una 'clase' de manera aislada, dado que en general no hay dos parcelas iguales. De tal forma, es posible hacer la suma estadística de todas las tomas de forma que el caudal del tramo de estudio se puede calcular según la ecuación (27) como:

$$Q = \sum_{i=1}^{i=R} p_i d_i + U \sqrt{\sum_{i=1}^{i=R} p_i q_i d_i^2} \quad (27)$$

La ecuación (27) Primera Fórmula Generalizada de Clément (PFG), vincula cada toma "i" con probabilidades de funcionamiento p_i y de cierre q_i , al caudal de demanda asignado a cada una,

q_{di} y a la calidad de funcionamiento de la red, mediante U , como función de la Garantía de Suministro.

Se ha asumido de igual manera que para la formulación original la ley de distribución Normal de caudales con sus parámetros característicos media (28) y desviación estándar (29) respectivamente:

$$\mu = \sum_{i=1}^{i=R} p_i q_{di} \quad (28)$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=R} p_i q_i q_{di}^2} \quad (29)$$

Es importante tener en cuenta que para adoptar esta metodología, Clément aclara que en los ramales terminales de la red, donde el número de tomas se hace muy pequeño (entre 4-10 tomas), es razonable agregar los caudales punta asignados a las tomas para calcular el caudal correspondiente a estas líneas, de tal forma que el caudal que circularía por el tramo correspondería a la suma de los caudales demandados por las tomas aguas abajo del tramo ($Q = \sum N q_{di}$), en lugar de aplicar la fórmula generalizada, dado que no se cumpliría la hipótesis de distribución normal y se incurriría en una subestimación del caudal (Clément, 1966; Labye et al, 1996).

2.1.4 Segunda Formula Generalizada de Clément

En el mismo artículo donde desarrolla su fórmula básica generalizada (Clément, 1966), Clément utiliza un razonamiento matemático distinto para conseguir una segunda expresión para el cálculo de caudales de diseño en los sistemas de riego. Caracterizando el proceso de riego como un proceso estocástico estacionario de Markov (Meyn, 1993), tal que una sucesión de aperturas de tomas (nacimientos) y cierres (muertes) con un tiempo de duración entre cada estado (tiempo de riego) (Clément, 1966; Granados, 2013).

Se supone una red constituida por R tomas, cuyo diseño admite un número N de tomas abiertas simultáneamente, de tal forma que $R > N$. Es posible encontrar un modelo de solicitudes a la red de dichas tomas, a través de una función de distribución temporal. Del mismo modo, es posible encontrar una función de distribución que describa los intervalos de funcionamiento de cada toma. (Lamaddalena et al., 2000).

El estado del sistema está definido por el número de tomas en funcionamiento en un instante dado, $P(j, t)$ será la probabilidad de tener j tomas abiertas en dicho momento y el salto hacia los estados vecinos, $j+1$ o $j-1$, para un tiempo $t+\Delta t$ posterior, puede darse si se presentan los eventos de nacimiento y muerte (apertura o cierre de las tomas), designados como λ y μ respectivamente. Si el sistema se encuentra en un estado j en un instante t y se produce un cambio en el intervalo $(t, t+\Delta t)$, la probabilidad condicional de que este cambio sea un nacimiento (una apertura de toma) es según la ecuación (30):

$$p = \frac{\lambda_j}{\lambda_j + \mu_j} \quad (30)$$

La probabilidad de que sea una muerte (un cierre de toma) es según la expresión (31):

$$q = \frac{\mu_j}{\lambda_j + \mu_j} \quad (31)$$

Siendo N el número máximo de tomas a servir de forma simultánea, según el autor (Clément, 1966), es posible calcular la probabilidad de que una nueva demanda no pueda ser atendida por saturación del sistema, P_{sat} , para un sistema compuesto por R tomas, en función de la probabilidad de apertura de una toma p , y si el número de tomas es lo suficientemente grande, de las leyes de la distribución Normal, según la ecuación (32):

$$P_{sat} = \frac{1}{\sqrt{Rp(1-p)}} \frac{\Psi(U')}{\Pi(U')} \quad (32)$$

Siendo $\Psi(U')$ la densidad de probabilidad de la distribución normal y $\Pi(U')$ su función de distribución acumulada. Se define la relación entre ambas funciones como lo expresa la relación (33):

$$H(U') = \frac{\Psi(U')}{\Pi(U')} \quad (33)$$

La variable U' corresponde a la variable normalizada, que depende del número de tomas R y la probabilidad de apertura y de cierre de estas, tal que (ecuación (34)):

$$U' = \frac{N - Rp}{\sqrt{Rp(1-p)}} \quad (34)$$

Siendo N , el número de tomas simultáneamente abiertas en la red.

Es posible calcular el valor de la variable U' en función de la probabilidad p y determinar el valor de $H(U')$, usando o la tabla tabulada (Tabla 2), o el diagrama que representa la función U' versus $H(U')$, ambas opciones aportadas por el autor (Clément, 1966), o haciendo uso del diagrama calculado a partir de las funciones $\Psi(U')$ y $\Pi(U)$ aportado por otros autores (Lamaddalena et al., 2000).

H(U')	U	U'H(U')
0,798	0.00	0.000
0,735	0.10	0.074
0,675	0.20	0.135
0,562	0.40	0.225
0,459	0.60	0.275
0.367	0.80	0.294
0.287	1.00	0.287
0.219	1.20	0.263
0.163	1.40	0.228
0.117	1.60	1.88
0.082	1.80	0.147
0.054	2.00	0.108
0.0176	2.50	0.044
0.0044	3.00	0.013

Tabla 2. Tabla de Valores $H(U')$ y $U'H(U')$. Tomado de Granados (2013)

Tomando el valor para la probabilidad de saturación sugerido por el autor ($P_{sat} = 1\%$), de (32) y (33) se obtiene la expresión (35):

$$H(U') = P_{sat} \sqrt{Rp(1-p)} \quad (35)$$

De (34) y (35), es posible definir la Segunda Fórmula de Clément para el número máximo de tomas a servir por el sistema sin llegar a la saturación, (número máximo de tomas de la red en funcionamiento simultáneo), como (ecuación (36)):

$$N = Rp + U' \sqrt{Rp(1-p)} = Rp + U' \frac{H(U')}{P_{sat}} \quad (36)$$

Tanto la primera como la segunda fórmula tienen estructuras parecidas y esta última también puede generalizarse bajo el supuesto de independencia de funcionamiento de las tomas. Con esta premisa se puede llegar a una expresión agregada, donde la variable normalizada depende de la probabilidad de saturación y no de la calidad de funcionamiento del sistema (correspondiente a la Garantía de Suministro seleccionada), tal como sucede en la fórmula original (Granados, 2013).

La Segunda Fórmula Generalizada (29) se obtiene tras sistematizar la función $H(U')$, (35), en función de la probabilidad de saturación y la suma estadística de las probabilidades de funcionamiento y cierre de las tomas de tal forma que resulta la ecuación (37):

$$H(U') = P_{sat} \sqrt{\sum(p_i(1-p_i))} \quad (37)$$

Definiendo finalmente el caudal que transita por el tramo de estudio de (36) y de (37) como se expresa en la ecuación (38):

$$Q = Nq_{di} = Rp_i q_{di} + U' \frac{H(U')}{P_{sat}} q_{di} = \sum p_i q_{di} + U' \sqrt{\sum(p_i(1-p_i)q_{di}^2)} \quad (38)$$

Aunque este segundo enfoque matemático para llegar al caudal de diseño, definido por la expresión (38), es más complejo que el planteado por la primera fórmula generalizada, y puede aproximarse de forma más precisa al comportamiento real de un sistema de riego, especialmente en redes de gran tamaño (superiores a 110 ha) (Clément, 1966), sigue siendo la primera fórmula de Clément el método más usado para el cálculo de caudales, dada su simplicidad y la posibilidad de aplicar coeficientes de ajuste que asuman los aspectos no contemplados o los posibles cambios futuros del sistema sin que se verifiquen sensibles diferencias respecto a la segunda metodología (Granados, 2013). De esta forma, entre los diseñadores de redes a la demanda ha tenido mayor difusión el uso de la primera fórmula generalizada en detrimento del segundo método.

Además, es de señalar que estas teorías estocásticas de nacimiento y muerte, no acaban de modelar las redes de riego puesto que el comportamiento de los usuarios impide definir las condiciones de saturación del sistema de forma definitiva, ya que, aun con el sistema

funcionando con el máximo número de tomas abiertas predefinido, los agricultores pueden decidir seguir regando incluso con presiones más débiles (Lamaddalena et al., 2000).

2.1.5 Trabajos recientes

Aunque sin duda el modelo de uso global para la determinar los caudales circulantes por una red de riego es la primera fórmula generalizada de Clément, dado que a menudo se incurre en fallos a la hora de estimar los flujos reales y en la búsqueda de diseños más eficientes y seguros, se continúa investigando en la mejor manera de determinar dichos caudales, apoyados en el desarrollo computacional para implementar modelos de simulación con requerimientos de tratamiento de robustas bases de datos que requieren potencias altas de procesamiento.

2.1.5.1 Curvas Aleatorias de Demanda Diaria

Uno de los modelos propuestos por Moreno et al. (2005), plantea la construcción de un elevado número de escenarios de operación de la red, generando de forma aleatoria el conjunto de hidrantes en funcionamiento para cada instante a lo largo del tiempo de operación. Los escenarios válidos que se recogen para ser evaluados han de satisfacer las necesidades de la alternativa de cultivo y la garantía de servicio seleccionada.

Los caudales circulantes por los tramos de la red, se obtienen de la adición de las demandas de las tomas abiertas aguas abajo de cada línea del sistema de estudio, como se ejemplifica en la Figura 1, en la cual, los tramos coloreados representan el tiempo que están operando los hidrantes de aguas abajo de una línea de la red. Es de anotar que se presupone que no todos los hidrantes abren simultáneamente durante toda la jornada de riego.

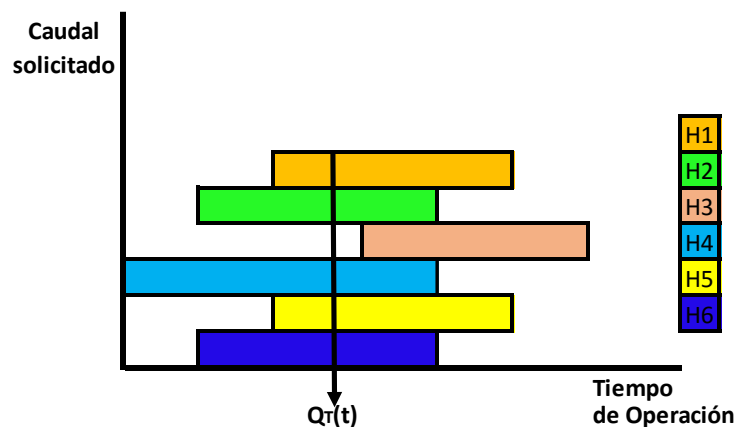


Figura 1. Caudal servido por los hidrantes en funcionamiento en un instante determinado (adaptado de. Planells 2005)

De la suma de los caudales circulantes por todas las ramas, resulta el caudal total, variable a lo largo del día y con ello, el trazado de las Curvas Aleatorias de Demanda Diaria (Figura 2). El caudal máximo demandado corresponde a la envolvente de las curvas de caudal generadas. El caudal de diseño equivale a la curva envolvente del 96% de los casos generados, la cual corresponde a un porcentaje inferior del caudal máximo (Moreno et al., 2005).

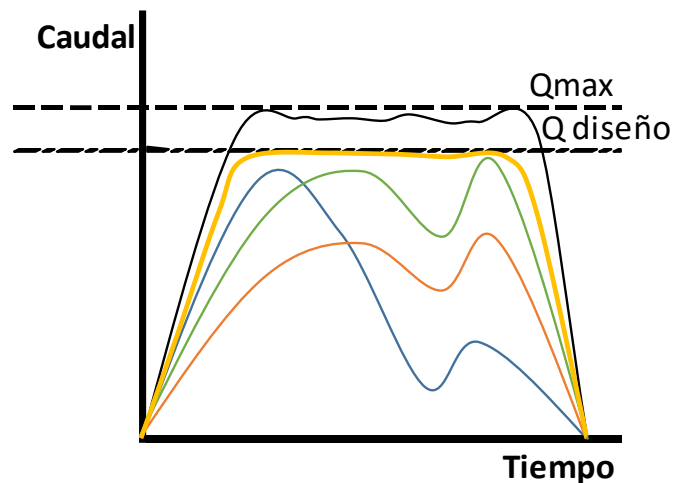


Figura 2. Curvas de Demanda Diaria Aleatoria y Envolvente de Caudales (adaptado de Planells 2007)

La probabilidad de apertura de las tomas depende del tiempo de riego diario y se define con los datos aleatorios del momento del día en que se abre la toma, la cual permanecerá en funcionamiento el tiempo de riego necesario para cubrir las necesidades de la parcela. Si el tiempo necesario para regar toda la parcela no puede ser cubierto en un mismo día, resultado de la elección de la hora de inicio de riego, los tiempos de riego diario por parcela no serán iguales y por tanto la probabilidad de apertura tampoco y dependerá de esta aleatoriedad.

De igual forma, en la metodología descrita en el trabajo descrito, se propone asignar la alternativa de cultivos a las parcelas de forma aleatoria, pudiendo evitar los errores cometidos al considerar una alternativa media para todas las parcelas (Planells, 2007).

2.1.5.2 Otros enfoques

La creciente inquietud por garantizar la eficacia en la prestación del servicio de abastecimiento de agua, dado el conflicto planteado debido a la escasez de recursos hídricos y el constante incremento de la demanda, especialmente en el sector agrícola, donde el riego representa el 70% de la demanda de agua en el mundo y más de un 87% de la demanda consuntiva (UNESCO, 2003), presiona a los investigadores a plantearse la optimización del recurso con el mayor rigor que la ciencia permite. La implementación de técnicas avanzadas de estadística y algoritmos de predicción, permiten caracterizar las demandas y estimar los caudales circulantes por las líneas de irrigación (Granados, 2013).

Cabe citar las investigaciones realizadas en la evaluación de las solicitudes de caudal a la red de riego a través de la aplicación de otras técnicas de estadística avanzada tales como Redes Neuronales y Regresiones múltiples (Pulido et al., 2005), así como modelos híbridos combinados con los llamados algoritmos genéticos (Pulido, 2009).

De igual modo, cabe mencionar en este apartado las metodologías destinadas a optimizar el diseño de redes de riego a presión, bajo criterios económicos (Pérez G., 1993), el desarrollo de algoritmos genéticos para ser implementados en el diseño de redes de abastecimiento

(Iglesias et al., 2004) y las metodologías de optimización conjunta de caudales circulantes y trazado de la red (Planells A. et al., 2007).

3 OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo general hacer un análisis comparativo entre las distribuciones de caudal provenientes de datos reales tomados en una red de riego a demanda, con los resultados teóricos obtenidos de la metodología de cálculo de Clément (PFG), la cual, como se ha mencionado, es la técnica más usada para el diseño de redes de irrigación.

Se propone verificar una de las hipótesis base planteada para su desarrollo. Aceptando que la probabilidad de funcionamiento es igual para todos los días y las horas del período punta, la metodología propuesta a evaluar plantea que las demandas del sistema se ajustan a una distribución binomial y a una distribución normal si el número de bocas de riego aguas abajo es lo suficientemente grande (más de 10 tomas, según Clément (1966)). Se pretende contrastar este supuesto con los datos reales medidos en un sistema de riego a presión y a la demanda, para el período punta así como para períodos diferentes del tiempo de estudio. Finalmente se busca plantear un mejor ajuste del comportamiento real del sistema.

3.1 Objetivos Específicos

1. Hacer una comparación estadística entre las distribuciones de caudal teóricas obtenidas mediante la aplicación de la primera fórmula generalizada de Clément con los caudales reales registrados de una red de estudio.
2. Determinar la curva de frecuencias real de los caudales mensuales, identificando la distribución que tiene un mejor ajuste.
3. Realizar una comparación estadística entre los resultados teóricos y los datos reales para todos los meses del año.
4. Validar o rebatir las hipótesis de ajuste estadístico usadas para el desarrollo de los cálculos teóricos a través de pruebas estadísticas de bondad de ajuste.
5. Analizar la posibilidad de proponer un ajuste de las distribuciones reales afines a otras distribuciones de probabilidad teóricas diferentes de la Normal, que describan de una manera más aproximada el comportamiento del sistema

4 METODOLOGIA

En este apartado se describe la metodología seguida en este Trabajo Final de Master con el propósito de verificar la hipótesis planteada por la PFG para el cálculo de los caudales en redes de riego. Dicha hipótesis de partida, H_0 , se define como el ajuste a la distribución normal de los caudales en la red dado un número elevado de usuarios (>10).

La secuencia planteada en la Figura 3, describe la metodología de trabajo seguida para la estimación de la distribución de caudales esperada y su posterior comparación con la distribución de los caudales circulantes en la red.

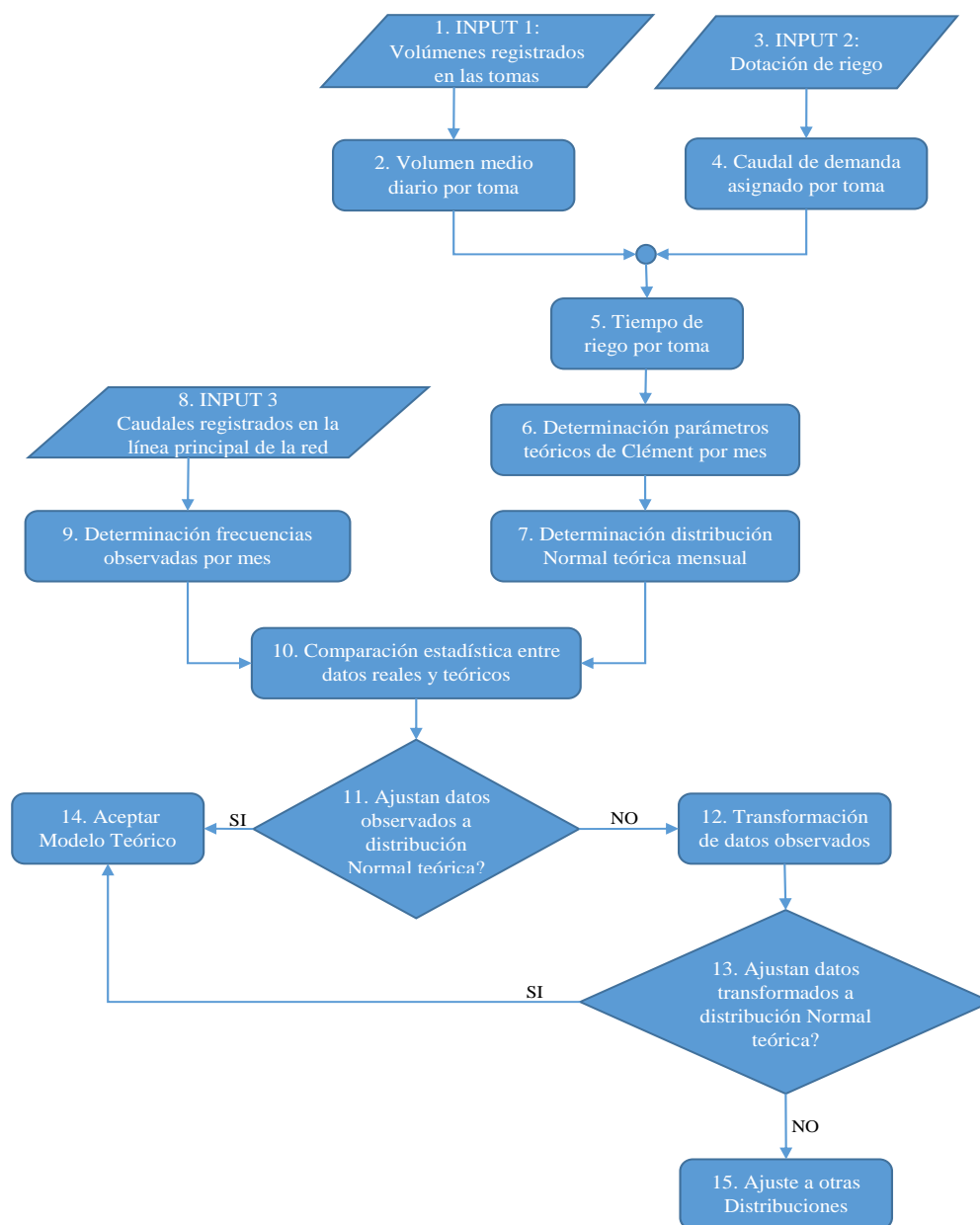


Figura 3. Metodología propuesta en la presente investigación

El análisis planteado en este trabajo, emplea el registro de volúmenes en las tomas de las diferentes parcelas durante todo el año 2015, con periodicidad mensual y el registro de caudales circulantes en la línea de cabecera de la red para el mismo año, con un intervalo de tiempo de registro de 5 minutos.

La metodología utilizada se desglosa a continuación.

4.1 Input 1: Volúmenes registrados en las tomas (C_i) - Consumos reales

El volumen mensual consumido por cada toma y superficie de parcela, C_i (m^3/ha), se corresponden con los volúmenes de agua aplicados en las parcelas, obtenidos a partir del registro mensual de datos de los contadores instalados en cada toma.

Se han recuperado los datos de consumo del período de estudio (año 2015), medidos por los contadores instalados en cada una de las 143 tomas que componen la red, las cuales abastecen las diferentes parcelas del sistema y se han convertido a unidades referidas al área de la zona regada, con el fin de comparar el consumo de los usuarios con las necesidades de riego de los cultivos implantados.

4.2 Volumen consumido medio diario en cada toma (V_{di})

Cálculo del volumen medio diario consumidos en cada toma, a partir de los registros de volumen anteriormente citados. Las unidades son m^3 por día.

El volumen medio diario demandado por toma, se ha calculado mediante la expresión (39):

$$V_{di}(m^3/dia) = \frac{C_i S_i}{días} \quad (39)$$

Donde C_i representa el valor del consumo mensual por hectárea, ($m^3/(ha\ mes)$) registrado por el contador en cada toma, S_i es el área de cada parcela y días se refiere al número de días de cada mes del período de estudio.

Determinar el volumen medio diario tiene como fin el cálculo de los tiempos de riego para cada toma.

4.3 Input 2: Dotación Unitaria de riego (d_i)

Determinación de la dotación unitaria de la zona de riego, a partir del diseño agronómico existente para la alternativa de cultivo principal y el marco de plantación mayoritario. Sus unidades son l/s por hectárea.

La dotación unitaria de riego, entendida como el caudal por hectárea que solicita cada toma a la red si esta se encuentra en funcionamiento, esta asignación, responde al diseño agronómico realizado previamente y ha de compensar las necesidades brutas del cultivo.

Los cálculos de caudal a suministrar con el fin de cubrir dichas las necesidades de agua para la alternativa seleccionada en la zona de riego, se realizan en función del marco medio de plantación definido por sus dimensiones (largo y ancho), el número de árboles por hectárea,

el caudal nominal de los goteros a instalar y el número de goteros por árbol, lo que queda expresado en la ecuación (40):

$$d_i(l/s/ha) = n_a n_g Q_g \quad (40)$$

Donde n_a es el número de árboles por hectárea, n_g el número de goteros por árbol Q_g el caudal del gotero tipo.

Es de subrayar que el caudal que ha de asegurarse en cada punto de riego se concibe superior a las necesidades efectivas para cada parcela, con el fin de dar al regante la elasticidad suficiente para organizar sus programas de riego según convenga a las necesidades de cultivo previstas a corto y largo plazo. Dicho caudal a servir es mayor que un caudal ficticio continuo, entendido como el necesario para garantizar las necesidades de riego si se debiesen cubrir 24 horas, sobre 24, durante el período punta (Labye et al., 1996).

Del mismo modo, en este trabajo también se han determinado las necesidades de riego del cultivo principal, con el fin de compararlas con los consumos registrados. Para ello se realiza el cálculo de las necesidades teóricas de los cultivos según el modelo agronómico planteado a continuación.

El ajuste del caudal a proporcionar en las tomas está condicionado a estas necesidades y para calcularlas se requiere conocer los requerimientos hídricos del cultivo en cada período del año. Dichos requisitos están ligados a las pérdidas del suelo y las plantas por evaporación y transpiración (evapotranspiración), que han de ser compensadas de forma natural a través de la precipitación o bien con agua aplicada en forma de riego (Martínez, 2004).

El procedimiento utilizado para calcular las necesidades de riego es el recomendado por la FAO (Allen, 1998), el cual estima estos requerimientos hídricos para un cultivo dado a partir de las variables meteorológicas (temperatura, radiación, humedad, viento, precipitación) y las propias del cultivo a implantar (tipo y variedad, fase de desarrollo, características vegetales, cobertura del suelo).

Las necesidades base del cultivo, también llamadas evapotranspiración del cultivo (ET_c), definidas como el volumen de agua que pierde un tipo de cultivo en condiciones estándar de óptimo manejo y que será necesario compensar para su buen desarrollo (Martínez-Cob, 2004), se calculan como se muestra en la relación (41):

$$ET_c = ET_o K_c \quad (41)$$

Donde ET_o representa la evapotranspiración de un cultivo hipotético de referencia, en diferentes épocas del año en la zona a implantar, que se calcula a partir de las variables climáticas citadas y que pretende dar una idea de cómo estas variables tienen un efecto sobre el proceso de evapotranspiración.

K_c , hace referencia a un valor tabulado que integra las características del cultivo a implantar y su efecto sobre el mecanismo de evapotranspiración. También ha de ser ajustado en función de las etapas de desarrollo del cultivo y las variables meteorológicas durante cada época del año (Martínez-Cob, 2004).

Como parte de las necesidades de agua son compensadas de forma natural por la lluvia, es necesario descontarla para calcular las necesidades de riego netas, las cuales se definen como el agua necesaria a suministrar por regadío a la zona radicular del cultivo para completar los requerimientos hídricos (Martínez-Cob, 2004).

Solo una parte de la precipitación total caída en la zona de riego es potencialmente utilizada por las plantas, excluyendo la infiltración profunda, la escorrentía superficial y la evaporación del suelo. Esta porción de lluvia almacenada en el suelo y que contribuye efectivamente en el aporte de agua necesario para los cultivos, se denomina precipitación efectiva y es el valor que se sustrae de las necesidades base, representadas por la evaporación del cultivo, de forma que el cálculo de las necesidades netas de riego, (N_R), en l/m^2 , se define por la relación (42):

$$N_R = ETc - Pe \quad (42)$$

Donde Pe representa la precipitación efectiva.

Existen varios métodos para calcular la precipitación efectiva, los cuales utilizan factores como balance hídrico del suelo, la pendiente del terreno, la evapotranspiración mensual, entre otros (Dastane, 1974). Sin embargo, es muy común estimarla como una proporción de la precipitación total registrada (alrededor del 70 – 90%) (Smith, 1992).

Para finalizar, es posible ajustar el valor de las necesidades de riego, teniendo en cuenta la eficiencia de la instalación y el manejo del sistema de riego, que puede verse afectado por las pérdidas del sistema o el requerimiento de lavado de sales cuando existen altas concentraciones en la zona (Martínez-Cob, 2004).

4.4 Caudales asignados a las tomas (q_{di})

Cálculo de los caudales asignados a las tomas, a partir de la dotación de riego. Sus unidades son l/s .

Se define para la red de estudio el caudal asignado que surte cada toma de la zona de riego, como la relación entre la dotación que resulta del marco de plantación escogido de las combinaciones propuestas en el diseño agronómico, el área de la parcela y el número de sectores en los que la parcela se divide los cuales se riegan no simultáneamente, relación que tiene la siguiente expresión (43):

$$q_{di} \left(\frac{l}{s} \right) = d_i \frac{S_i}{n_i} \quad (43)$$

Donde d_i es la dotación que establece el marco de plantación seleccionado para la alternativa de cultivo escogida, S_i es la superficie total de la parcela irrigada por cada toma, n_i es el número de sectores en que se divide cada parcela.

4.5 Tiempos de riego (t_{ri})

Cálculo de los tiempos de riego o duración de apertura de las tomas en las parcelas. Unidades en s.

Conocida la dotación de riego y el volumen medio diario a aplicar, se puede determinar el tiempo de riego de la parcela, definido por las horas al día en que la toma se encuentra abierta. Como es posible reducir los tiempos de riego y con ello los tiempos de funcionamiento de las tomas sin que las necesidades hídricas del cultivo se vean afectadas (Planells et al., 1999), se espera que los intervalos de funcionamiento de las tomas sea inferior a 24 horas.

Si el volumen total de agua consumido por cada parcela se define por la relación entre el caudal diario asignado, q_{di} , y el tiempo de riego, t_{ri} . De tal forma queda expresado por (44):

$$V_{di} = q_{di} t_{ri} \quad (44)$$

Despejando el tiempo de riego de la expresión (44) se puede calcular, en función del volumen mensual consumido por cada toma (V_{di}) y el caudal real de dotación de riego por toma, a través de la relación que corresponde a la igualdad (45):

$$t_{ri} = \frac{V_{di}}{q_{di}} \text{ (horas/día)} \quad (45)$$

4.6 Parámetros teóricos de Clément: media (μ) y desviación estándar (σ)

Cálculo de los parámetros de la distribución teórica de Clément (PFG), a través de los caudales asignados y de las probabilidades de apertura de las tomas (p_i), determinadas en función de los tiempos de riego (t_{ri}).

En primer lugar, se puede evaluar la probabilidad de apertura de cada toma como la relación entre el tiempo de riego calculado y las Jornadas Efectivas de Riego proyectas (24 horas o 16 horas) según la ecuación (46):

$$p_i = \frac{t_{ri}}{JER} \quad (46)$$

Donde t_{ri} es tiempo de funcionamiento de una toma "i" (horas/día), y JER es la jornada efectiva de riego (horas/día).

Dado que se trata de una red de riego a la demanda por gravedad, la JER , considerada como el tiempo en que los usuarios pueden disponer del caudal de riego (tiempo disponible de la red), se asume como 24 horas. Máxime, cuando es posible comprobar, según los registros del caudalímetro, la existencia de consumos durante las 24 h del día.

La probabilidad se supone homogénea tanto a lo largo de un mes como a lo largo de cada día

de ese mes.

Conocida la probabilidad mensual para cada una de las tomas, se determinan siguiendo la metodología propuesta, respectivamente la media y desviación típica de cada mes, según las expresiones (28) y (29) de la PFG de Clément.

4.7 Distribuciones Normales teóricas de caudales en la red

Determinación de las distribuciones teóricas mensuales para la red de estudio, según la metodología de Clément, a partir de la función de densidad de la distribución Normal con los parámetros μ y σ calculados previamente.

Con los parámetros calculados, media y desviación estándar, se calcula la función de densidad Normal que corresponde a la distribución esperada para los caudales observados si se cumpliera en la realidad estrictamente con el modelo propuesto. La ecuación de dicha función de densidad (pdf) a partir de los datos observados viene definida por la ecuación (47):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{x_i-\mu}{\sigma}\right]^2} \quad (47)$$

Donde x_i es el valor de cada dato observado en un mes; μ es la media de la distribución normal de Clément calculada para un mes; σ es la desviación estándar de la distribución normal de Clément calculada para un mes.

4.8 Input 3. Caudales registrados en la línea principal de la red

Obtención de los datos de caudal registrados por el caudalímetro instalado en la tubería principal en cabecera de la red. Las unidades registradas en el mismo son l/s.

Se obtienen los datos de los caudales en la línea de entrada a la red, aguas arriba de los hidrantes considerados, con el fin de verificar el ajuste de las demandas reales del sistema con los valores teóricos resultado de la aplicación de la PFG de Clément y en especial el grado de cumplimiento de la hipótesis de normalidad planteada para el desarrollo del modelo de cálculo.

Dichos datos, para el caso de estudio, fueron registrados cada cinco minutos para todos los días del período comprendido entre el 1 de enero hasta el 31 de diciembre del 2015.

4.9 Determinación de las frecuencias mensuales observadas

Determinación de las tablas de frecuencia mensual observadas para un número de clases y tamaño de intervalos apropiado.

La construcción de las tablas de frecuencia absoluta mensual se realiza para los datos empíricos agrupados en número de clases igual a \sqrt{n} , siendo n el número de datos observados y el tamaño de los intervalos se define como el rango (diferencia entre el valor máximo y mínimo) partido el número de clases (Navidi, 2006).

4.10 Comparación estadística entre datos reales y teóricos

Comparación estadística entre los datos observados de caudal acumulado en la línea principal y las distribuciones teóricas a través de la aplicación de pruebas gráficas (histogramas y *Q-Q plots*) y test de bondad de ajuste (Chi-cuadrado (χ^2), test de verosimilitud (*test G*) y Kolmogorov-Smirnov (*K-S*)).

Con el fin de contrastar el supuesto de normalidad usado para el desarrollo teórico de la fórmula de Clément, se pueden aplicar varios procedimientos de verificación de normalidad. Los dos procedimientos más comunes para validar el hipotético ajuste normal y que han sido usados en este estudio son: las pruebas de tipo gráfico, y los propiamente dichos, test de bondad de ajuste (Razali et al., 2011).

Los estudios de correlación se efectúan entre los datos de caudal registrados en la línea de cabecera de la red y datos esperados para una distribución teórica normal de media y desviación estándar correspondiente a los cálculos mensuales provenientes del método de Clément.

4.10.1 Pruebas gráficas

Estos tipos de test proporcionan un dictamen aproximado del posible ajuste a una distribución determinada de una serie de datos observados (Ryan, Joiner et al., 1976).

4.10.1.1 Histogramas

Los histogramas son una forma de resumir los datos provenientes de una muestra de forma gráfica, lo que permite tener una idea de las pautas que siguen y el modelo de distribución posible que adoptan los datos empíricos.

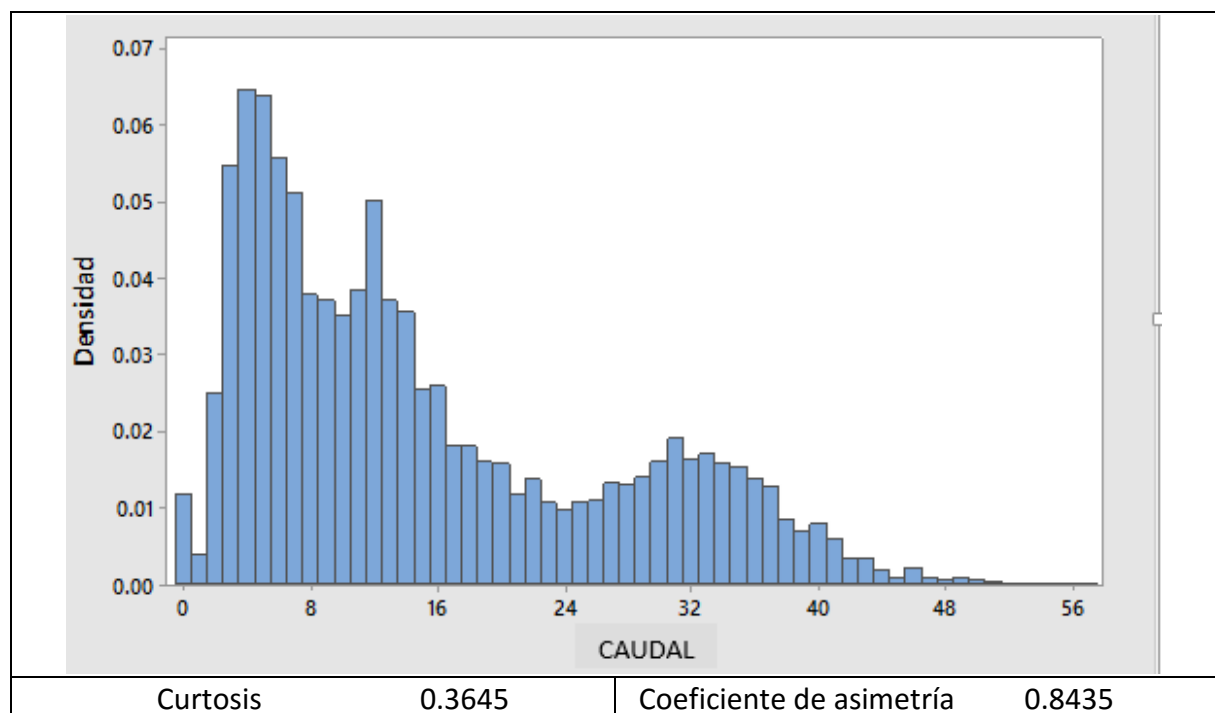


Figura 4. Histograma tipo de Frecuencias Relativas. Valores de Asimetría y Curtosis

Con el fin de realizar una primera inspección visual e identificar las características de la distribución para el período de estudio, a partir de las tablas de frecuencias correspondientes a los caudales registrados mes a mes, se dibujan los histogramas correspondientes mediante diagramas de barras, donde el ancho de estas corresponde al valor del intervalo de clase y la altura, a las frecuencias relativas de las clases. Este diagrama proporciona una idea de la forma adoptada por la distribución. Las características que se pueden observar son: la pauta de los datos, la existencia de formas acampanadas o asimétricas, los picos encontrados, las regiones de concentración de los datos y la existencia de colas (Navidi, 2006).

Una vez construidos los histogramas según el modelo de la Figura 4, se estudian los datos de la muestra, utilizando la herramienta de estadística descriptiva Análisis de Datos de Excel, donde se proporciona el valor de los coeficientes de Asimetría y Curtosis, los cuales agregan información a la mera inspección visual.

Los valores de asimetría determinan si la forma de la distribución de la muestra se desvía de la posición central. Establecen si los valores bajos se inclinan hacia a las frecuencias más altas, es decir, que la tendencia de los datos es a agruparse del lado izquierdo de la distribución mientras que hacia la derecha, donde están los valores más altos, las frecuencias son más bajas (asimetría positiva) o si se agrupan del lado derecho de la distribución, dejando las frecuencias más bajas del lado izquierdo (asimetría negativa). En general se usa el valor de la media aritmética como referencia de posición central. Si el valor de la asimetría tiende a cero, la distribución se considera simétrica (las frecuencias son las mismas a derecha e izquierda del centro), tal es el caso de distribuciones normales. Por el contrario, si el valor es mayor o menor que cero, la distribución estará mostrando una simetría positiva o negativa respectivamente (González, 2006).

Con el valor de la Curtosis se determina la concentración de las frecuencias en torno del centro de la distribución. Dicha media de apuntalamiento de los datos, se aplica a distribuciones simétricas o ligeramente asimétricas respecto a la distribución normal. Muestran valores cercanos a cero aquellas distribuciones de datos que se asemejan a la Normal, mientras que valores mayores, muestran una mayor concentración de los datos en el centro de la distribución y valores por debajo de cero concentraciones más dispersas respecto a dicho valor central. Se denominan respectivamente distribuciones mesocúrticas (cercanas a la Normal), leptocúrticas (frecuencias altas alrededor de la media como medida central) y platicúrticas (frecuencias con apuntalamiento menor que el de la Normal) (González, 2006).

4.10.1.2 **Gráficos de probabilidad (Q-Q Plot)**

Las gráficas de probabilidad permite comprobar si los datos de una muestra observada siguen una distribución específica, a través de contrastar los percentiles de la distribución teórica con los valores ordenados de la muestra.

La gráfica planteada se compone de los cuantiles de los puntos x_i , datos observados ordenados de forma ascendente ($i=1,2,\dots, n$), y de los cuantiles de la distribución teórica (Q_{ti}).

Para dibujar estos gráficos se requiere determinar primero el valor de los puntos de posición (pp_i) correspondientes a la expresión (48):

$$pp_i = \frac{(i-0.5)}{n} \quad (48)$$

donde "i" es la posición del dato x_i en la muestra ordenada y n el total de datos de la muestra (Castillo et al., 2007; Navidi, 2006).

Si $F(x)$ corresponde a la función de distribución teórica, los cuantiles teóricos corresponden a la expresión (49):

$$Q_{ti} = F^{-1}(pp_i) \quad (49)$$

Los cuantiles observados coinciden con los valores empíricos x_i de forma que, según la expresión (50):

$$Q_{oi} = x_i \quad (50)$$

Si ambos registros derivan de la misma distribución, las parejas de puntos se concentrarán a lo largo una línea de referencia, la bisectriz del cuadrante de trazado. (Wilk et al, 1968).

Los software actuales realizan los cálculos concernientes a los cuantiles de los datos observados para la distribución teórica escogida, posteriormente los grafican junto a los valores observados ordenados. Para el presente estudio se utilizó el programa *MATLAB*, el cual tiene incorporada la función "qq plot" que permite dibujar los gráficos requeridos, los cuales se presentan según el modelo de la Figura 5.

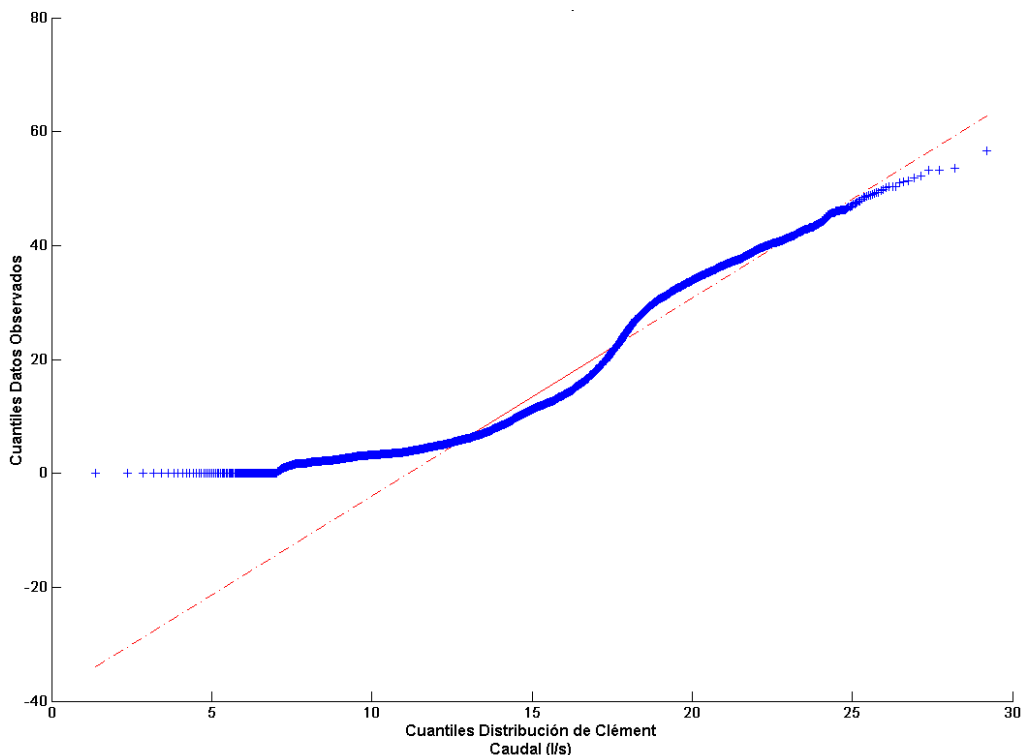


Figura 5. Gráfico QQ-Plot

En los gráficos “Q-Q plot” que se graficaron para este estudio, se representan los valores de la variable aleatoria observada en el eje vertical, caudales observados de la línea principal del sistema, y en el eje horizontal los cuantiles, de la distribución Normal esperada, cuyos parámetros pertenecen a los del modelo de Clément.

A la par de valorar visualmente la separación de los datos empíricos respecto a la distribución normal teórica, los gráficos de probabilidad, como también se les denomina, permiten estudiar asimetrías positivas o negativas, apuntalamientos respecto a la distribución teórica normal (Gutiérrez et al., 2007). Por ejemplo, gráficas con patrones curvos de pendiente creciente de izquierda a derecha, indican que los datos presentan una asimetría positiva respecto a la media teórica, y datos finales a la izquierda por encima de la línea y datos finales a la derecha por debajo de la línea, muestran la presencia de colas en las partes terminales de la distribución, lo cual es evidencia respectivamente de la existencia de excesivos o escasos datos que se ubican en ellas (Gutiérrez, 2007; Chambers, 1983). Como ejemplo del mismo puede tomarse el representado en la Figura 5.

4.10.2 Pruebas de Bondad de Ajuste

Tras la comprobación visual aportadas por los histogramas, así como por las gráficas de probabilidad, se decide optar por aplicar algunos de los test de análisis estadístico no paramétrico de uso común, usados para distribuciones de muestras cuantitativas con un elevado número de datos posibles de ser agrupados en clases. (Montenegro et al., 2015).

Dichos test de ajuste se seleccionaron con los siguientes criterios (Hollander, 1973):

- Es posible aplicarlos tanto a muestras pequeñas como a muestras con un importante número de datos.
- Los datos han de ser independientes.
- Se desconoce la distribución de la que provienen los datos y no es necesario realizar ninguna asunción acerca de ello.
- Es posible realizar contrastes de modelos cuyos parámetros no estén referidos a los datos observados.
- Respuestas fiables al análisis con sencillez de cálculo.

4.10.2.1 Prueba Chi-Cuadrado (χ^2)

En primer lugar, se recurre a la comprobación estadística χ^2 , para verificar la hipótesis inicial de la distribución normal de los caudales de la red. Es útil usar la distribución χ^2 para realizar este tipo de contrastes para hipótesis sobre datos empíricos de experimentos multinomiales (para el caso tratado, binomiales), tal que se trate de n pruebas independientes, con k resultados posibles (para el caso, dos resultados posibles, correspondientes a la apertura y cierre de las tomas), asociados a una probabilidad de ocurrencia la cual permanece constante a lo largo del experimento (en este caso, para cada mes del período de estudio) (Navidi, 2006).

Esta prueba aplicable a distribuciones continuas, se fundamenta en la cercanía que tendrían

los datos observados y los esperados (teóricos), si la hipótesis planteada resulta verdadera (Navidi, 2006), lo cual nos permitiría afirmar que los datos observados se ajustan al modelo de distribución propuesto.

Con este fin, se usa la prueba de bondad de ajuste basada en la distribución *Chi-cuadrado*, utilizando el estadístico χ^2 resultado de la comparación entre los datos observados y los datos esperados, en la Figura 6 se muestra un gráfico de dicha comparación para una muestra genérica:

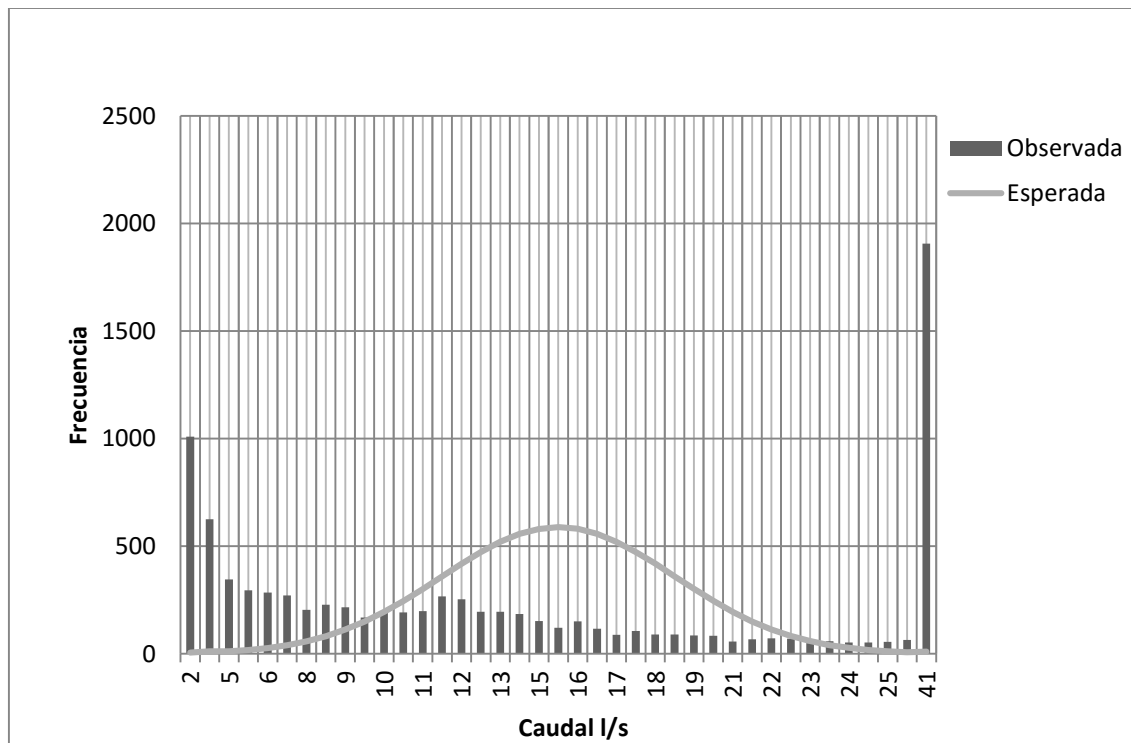


Figura 6. Esquema tipo prueba Chi-cuadrado

El cálculo del estimador se realiza mediante la diferencia relativa entre las observaciones y los valores teóricos, definido por la expresión (51):

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{FO_i - FE_i}{FE_i} \quad (51)$$

Donde el valor de k , corresponde al número de clases con frecuencias no menores a cinco elementos.

Los valores de las frecuencias esperadas, las cuales se estiman para las " k " categorías o clases en las cuales se han de agrupar los datos empíricos previamente. Los datos esperados corresponden a los valores teóricos, calculados al multiplicar la probabilidad de apertura correspondiente a la distribución normal cuya media y desviación estándar se han extraído del cálculo de Clément, para la clase correspondiente, por el número total de valores observados (pruebas del experimento). Es decir, el valor de la frecuencia esperada para la clase " i " (FE_i), resulta del producto entre la diferencia de probabilidades acumuladas de los límites de la clase y el número de datos observados según la expresión (52):

$$FE_i = (LS_i - LI_i) n \quad (52)$$

Siendo LS_i el valor de probabilidad para el límite superior de la clase "i"; LI_i , el valor de probabilidad de límite inferior de la clase "i"; n el número de datos totales observados.

Como es aconsejable que el valor de las frecuencias esperadas no sea menor que 5, se han agrupado las clases cuyo valor de Frecuencia Esperada no cumplía con dicha condición (González, 2006).

Con esta prueba, se pretende comparar el valor calculado del estadístico Chi-cuadrado, con un valor crítico tabulado, para un nivel de significancia determinado (en general 0.05, valor que se ha tomado para el análisis).

Este valor del nivel de significancia escogido, se ha mantenido de uso común en los estudios científicos, desde que fue introducido por R.A. Fisher (1925) en su *Statistical Methods for Research Workers (SMRW)*. Sin embargo, aunque este valor es un nivel estándar de evaluación que permite concluir cuanta evidencia existe en favor o en contra del rechazo de la hipótesis nula planteada, no es una regla absoluta y es posible considerar otros valores en función de las consecuencias que pueda implicar el rechazo o no de la hipótesis planteada y el tipo de experimentos que se estén planteando (Sterne, 2001). Para el caso de estudio planteado, se ha mantenido el valor de 0.05 como un valor suficientemente aceptable para el estudio propuesto.

Este valor del nivel de significancia, en general denotado por α , se ha terminado por entender como la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando esta es cierta. Un valor de $\alpha = 0.05$ indica que existe un riesgo no mayor al 5% de concluir que existen evidencias suficientes para rechazar el supuesto de que la distribución de los datos empíricos se ajusta a la distribución de probabilidad propuesta, cuando en realidad habría que haberlo aceptado (Cowles et al., 1982).

Para encontrar el valor χ^2 en las tablas, es necesario calcular el valor de grador de libertad, asignado a la muestra como se muestra en la ecuación (53):

$$v = k - r - 1 \quad (53)$$

Donde r es el número de estadísticos necesarios para calcular las frecuencias esperadas, que para la distribución normal corresponden a la media y la desviación estándar ($k=2$).

Una vez determinado el estadístico crítico se acepta que hay evidencia para aceptar como verdadera H_0 , hipótesis de ajuste a la distribución normal de los datos observados, cuando el valor de χ^2 crítico es mayor que el respectivo valor calculado.

4.10.2.2 Test G o razón de verosimilitud

La bibliografía establece que si las diferencias entre las frecuencias observadas (FO_i) y las frecuencias esperadas (FE_i), $FO_i - FE_i$, es mayor que las frecuencias esperadas, se utilice el Test

G o razón de verosimilitud para verificar la prueba de bondad de ajuste de la prueba χ^2 (Williams, 1976).

Del mismo modo que la prueba χ^2 , este test pretende ver la distancia entre los datos observados y esperados de una distribución propuesta para la H_0 . El grado de libertad y el valor crítico de comparación se obtiene de la misma tabla de la distribución χ^2 . La ecuación utilizada para el estadístico calculado es, según la expresión (54):

$$G = 2 * \sum_{i=1}^k FO_i * \ln\left(\frac{FO_i}{FE_i}\right) \quad (54)$$

Igualmente, esta prueba no admite frecuencias esperadas con menos de 5 datos, con lo cual se deben agrupar las categorías propuestas para que se cumpla dicha condición.

Como el valor crítico se extrae de las tablas de la distribución Chi-cuadrado, el valor de G ha de ser ajustado mediante la corrección propuesta por Williams (1976), según la expresión (55):

$$G_{ajust} = \frac{G}{1 + \frac{k^2 - 1}{6 * n * (k - 1)}} \quad (55)$$

De la misma manera que la prueba de bondad anterior, si el valor crítico es mayor que el valor de G_{ajust} entonces se valida la H_0 de que la distribución de los datos es la esperada.

4.10.2.3 Test de Kolmogorov - Smirnov

Se propone la prueba de Kolmogorov – Smirnov ($K-S$), como test de ajuste apropiado para los datos observados de la red, ya que ha sido recomendado para usarse en grupos de datos independientes de una muestra aleatoria simple, proveniente de una población con distribución desconocida (Daniel, 1990), características que se corresponden con la muestra de datos observados, utilizados para este estudio.

Dicho test, propuesto en los años 30 por los matemáticos A. Kolmogorov y N.V Smirnov, es una prueba para verificar si una muestra procede de una población cuyos datos siguen una distribución específica, la cual debe ser una distribución continua y completamente especificada, es decir que sus parámetros no se estiman a través de los datos de la muestra. Con este test se pretende encontrar la máxima distancia entre las distribuciones de frecuencias acumuladas de los datos observados (datos empíricos) y las distribuciones de frecuencias acumuladas de los datos esperados (Kolmogorov, 1932; Smirnov, 1939).

La hipótesis a comprobar, H_0 , plantea que la muestra ha sido extraída de una población cuyos datos se distribuyen según una forma concreta. Su alternativa H_1 , plantea que no existen datos suficientes para verificar que esto es cierto.

El estadístico de comparación, D , se calcula hallando la diferencia máxima entre las frecuencias acumuladas observadas (FAO_i) y las frecuencias acumuladas esperadas (FAE_i), según se expresa en la ecuación (56) y se muestra en la Figura 7:

$$D = \max |FAO_i - FAE_i| \quad (56)$$

Una vez calculada esta discrepancia se ha de comparar este valor con otro valor crítico que se encuentra en las tablas de la literatura relacionada que se escoge según un nivel de significancia deseado y el tamaño de la muestra (González, 2006; Massey Jr., 1951).

La Figura 7 muestra la distancia máxima que puede existir entre las funciones de distribución acumulada de los datos observados (*fda Observados*) y las funciones de distribución acumulada teóricas (*fda teóricos*), de la distribución normal del cálculo de Clément.

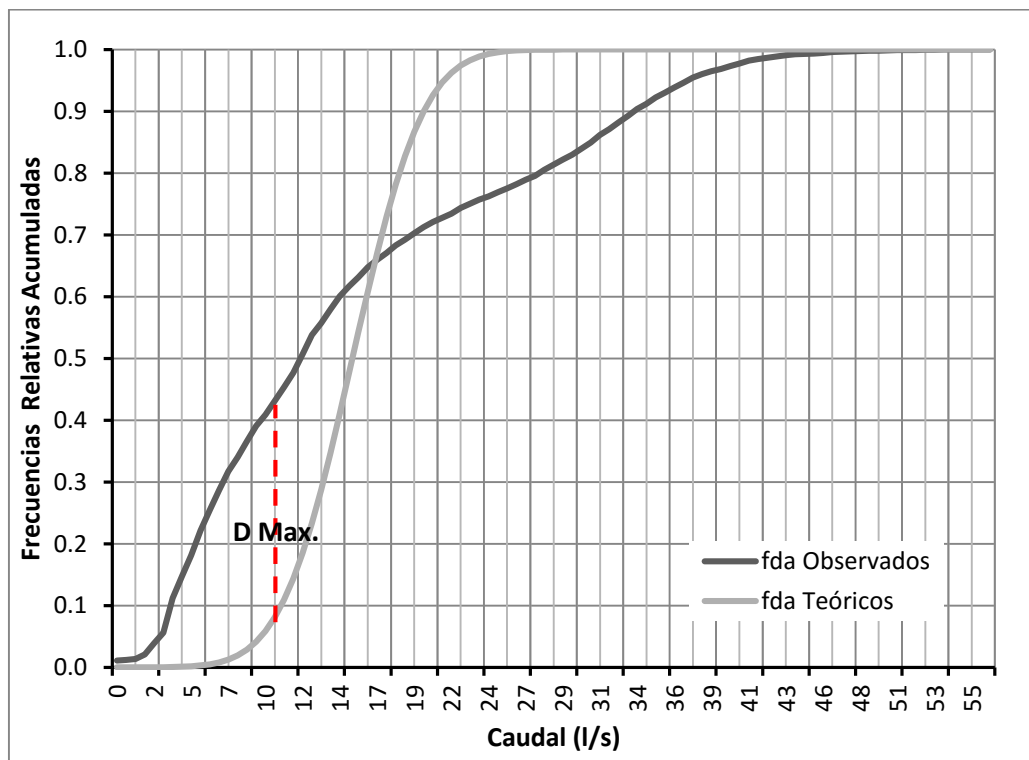


Figura 7. Esquema Test K-S

Para el caso de estudio, este valor tabulado se encontró para el nivel de significancia (α) escogido también en la prueba χ^2 (0.05).

Corresponde con este valor de α (asociado a un nivel de confianza del 95%), el valor del estadístico crítico de la prueba K-S para la serie de valores del estudio, al valor calculado para una muestra mayor de 40 elementos que resulta de la ecuación (57):

$$D_{critico} = \frac{1.36}{\sqrt{n}} \quad (57)$$

Siendo $D_{critico}$ el estadístico tabulado y n el número de datos de la muestra.

La hipótesis de que los datos se ajustan a una distribución normal se acepta cuando el valor del estadístico D calculado es menor al tabulado, $D_{critico}$. Si el valor D calculado es mayor al tabulado, la hipótesis se rechaza (González, 2006).

Actualmente se considera más adecuado utilizar la prueba *K-S* sobre las otras, ya que trabaja directamente con las observaciones sin necesidad de agrupar clases, lo que evita pérdida de información y errores debidos al agrupamiento de los datos. Además sus cálculos son reducidos, de fácil aplicación y comprensión (Stephens, 1992). De todas maneras, se consideró adecuado realizar los diferentes test, dado que se quiere concluir con la mayor certeza posible el rechazo o verificación de la hipótesis de normalidad planteada por el modelo teórico de estudio (PFG).

4.11 Análisis de resultados del ajuste de los datos observados a la distribución teórica

En este punto de la metodología se hace un primer análisis completo de los resultados con el fin de hacer una primera conclusión acerca de la pregunta: ¿Ajustan los datos observados a la distribución Normal que propuso Clément para el desarrollo de su metodología?

Si es así, es decir, si según los resultados de las pruebas de ajuste aplicadas a los datos observados, estos no se alejan de los datos esperados, se verifica la metodología, y por tanto, se acepta la hipótesis planteada, en la cual, la distribución de caudales en una red de riego se ajusta a la distribución Normal.

En caso contrario, rechazando la hipótesis inicial, se procede a aplicar una transformación de los datos observados con el fin de que estos se acerquen lo máximo posible a la distribución normal (Feng et al., 2013). A continuación, se procede a corroborar nuevamente el ajuste de los datos transformados a la distribución teórica.

4.12 Transformación de Datos

Tras la primera verificación y con el fin de eliminar la posible influencia de los aparentes datos atípicos, se realiza un proceso de transformación sobre los datos observados, para luego compararlos con las distribuciones teóricas de Clément.

Existen diferentes mecanismos para realizar este tipo de transformaciones y no todas son adecuadas para el grupo de datos a procesar (González, 2006). Para modificar el perfil que adoptan las distribuciones de datos observados, se opta por la transformación logarítmica, para las distribuciones observadas que presentan un sesgo positivo respecto a la distribución normal, con el fin de disminuir dicha asimetría, concentrando los valores entorno a la media. Redistribuyendo en escala logarítmica, los datos se agruparán hacia el centro, reduciendo su distancia: los datos de la derecha se comprimirán, mientras que los de la izquierda se expandirán, lo cual permite disminuir la asimetría de los datos originales (Gutiérrez et al., 2007).

La reducción de las distancias entre los datos, no implica la alteración del orden de los valores originales, con lo cual, se mantiene la relación de orden alterando solo la forma de la distribución (Erickson et al., 1977).

Dado que en algunos meses es muy frecuente el valor de 0 para el caudal registrado, se opta por la transformación $\log(x_i+1)$, siendo x_i cada uno de los datos de caudal originales registrados por el caudalímetro. Para los meses cuyos valores mínimos de caudal es mayor a cero la transformación usada fue $\log(x_i)$.

Se realiza una verificación gráfica de comparación entre los datos transformados y la distribución teórica normal para estos datos.

4.13 Análisis de resultados del ajuste de los datos observados transformados a la distribución teórica

Una vez más se plantea la pregunta, esta vez para los datos observados transformados: ¿Se ajustan a la distribución normal de Clément?

Según la respuesta, bien se verifica la hipótesis normal, con la exclusión de los datos atípicos, o bien se procede a probar otros ajustes a distribuciones continuas conocidas diferentes de la Normal.

4.14 Verificación del Modelo Teórico

Se ha dejado este paso en este apartado ya que llegar hasta aquí significaría que o bien se acepta que existe evidencia suficiente para no rechazar la hipótesis teórica al realizar el análisis de los resultados de las pruebas de ajuste con los datos observados (apartado 3.11), o bien se llega tras el análisis de los resultados de la transformación de dichos datos (apartado 3.13).

En cualquier caso, si se verifica la hipótesis planteada para el ajuste de los datos de caudal por el modelo teórico de Clément, no se proseguiría con las etapas sucesivas.

4.15 Prueba de ajuste de los datos observados a otras distribuciones teóricas (Fit Distribution)

Si existe evidencia suficiente para rechazar H_0 (hipótesis de normalidad de la metodología planteada), con el fin de identificar una mejor distribución de ajuste a los datos reales, se decide probar con otras distribuciones diferentes a la normal. Para ello se utiliza el software *MATLAB* (MATHWORKS, 2013), del cual la Universidad Politécnica cuenta con la licencia de uso.

Teniendo en cuenta la discusión de (Fisher, 1922) que plantea el problema de encontrar un modelo de ajuste a una serie de datos a través de tres aspectos fundamentales: la especificación del modelo, la estimación de los parámetros de dicho modelo y la estimación de la precisión; el presente apartado solo pretende dar una idea aproximada y gráfica de los posibles modelos a tener un mejor ajuste a los datos del caso de estudio, posponiendo para próximos trabajos la definición de las variables que definen los parámetros de otros ajustes a distribuciones continuas diferentes a la normal.

Se trabajó con la función *ALLFITDIST*, código desarrollado y distribuido con licencia libre de uso y modificación por Sheppard (2012) para la plataforma de la comunidad *MATLAB*.

La herramienta prueba todas las distribuciones en su base de datos y refleja las que mejor ajuste proporcionan. Entre las distribuciones candidatas a tener un mejor ajuste con los datos observados que se muestran en la Tabla 3, (además de la Normal), se encuentran: Generalized Extreme Value (*GEV*); Generalized Pareto Distribution (*GPD*); Exponencial; t-Location Scale; Log-Normal, Inversa Gaussiana y Gamma.

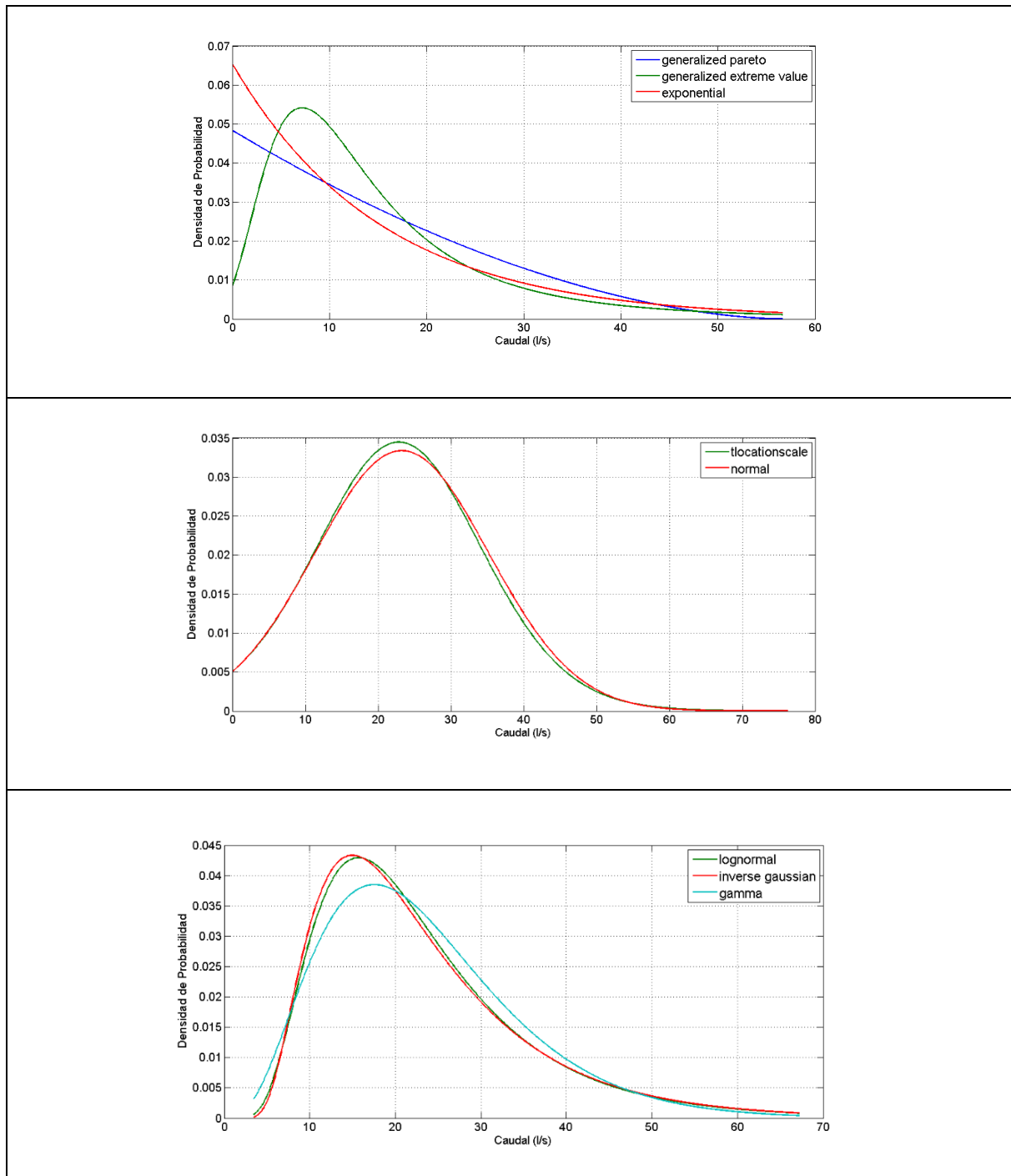


Tabla 3. Distribuciones continuas a probar

La herramienta selecciona las curvas de mejor ajuste usando dos criterios de información basados en la máxima verosimilitud: *AIC* (Akaike Information Criterion) y *BIC* (Bayesiano Information Criterion). Dichos conceptos se explican a continuación:

4.15.1 Máxima Verosimilitud y Criterios de información

Al suponer que los datos siguen un modelo de distribución determinado, se hace necesario estimar los parámetros para cada uno de ellos. La herramienta utiliza el método de la máxima verosimilitud (Method of Maximun Likelihood) enunciado por Fisher (1922).

Este método expone, asumiendo que los datos siguen un modelo determinado, que los valores estimados de los parámetros de la distribución escogida corresponden a los de mayor probabilidad de ocurrencia entre todos los posibles, conveniente a los datos observados.

El valor de máxima verosimilitud, es el producto de los valores de la probabilidad de los datos condicionados al modelo y a los k parámetros de los constituyen. Por lo tanto, es posible obtener el valor del estimador de los parámetros en cuestión a través de maximizar la función de probabilidad de verosimilitud, se define por la ecuación (58):

$$\mathcal{L}(\theta | (x_1, \dots, x_n), f) = \prod_{i=1}^n f(x_i | \theta) \quad (58)$$

Siendo \mathcal{L} la función de verosimilitud, x_1, \dots, x_n , los datos conocidos que siguen un posible modelo con función de densidad de probabilidad f . θ es el vector de los parámetros de dicho modelo, los cuales son desconocidos. Cuanto mayor es el valor de la función, mejor ajuste tendrá el modelo planteado a los datos reales, lo cual dependerá de la forma del modelo como de la dispersión de los datos (Burnham, 2003).

En la práctica se busca el estimador de máxima verosimilitud, $\hat{\theta}$, como el valor de teta que maximiza el logaritmo de la función, a partir de calcular la derivada del logaritmo de la función de densidad de la distribución propuesta e igualando dicha función resultante a cero tal como se expresa en la ecuación (59) (Martín P. et al., 2008):

$$\frac{\partial}{\partial \theta_j} \ln(\mathcal{L}(\theta)) = 0 \quad (59)$$

Comprobando que se trata del máximo (60):

$$\frac{\partial^2}{\partial \theta_j^2} \ln(\mathcal{L}(\theta)) |_{\hat{\theta}_j} < 0 \quad (60)$$

Aunque es difícil encontrar el modelo de ajuste perfecto, se optará, según el principio de parsimonia, por aquellos más sencillos pero que sean capaces de explicar adecuadamente el comportamiento de los datos observados, ya que, en ocasiones, aunque se añadan parámetros al modelo, puede que solamente este se complique, sin aportar sensiblemente cercanía a la distribución de ajuste perfecto. Para encontrar esta comunión, entre el buen ajuste y la simplicidad del modelo, es posible utilizar otras medidas de contraste que plantean un compromiso entre la complejidad de la distribución y el acople de esta al comportamiento

real de los datos, midiendo la capacidad de ajuste del modelo a los datos observados penalizando modelos con muchos parámetros (Caballero, 2011).

Los criterios de información utilizados en este estudio se definen a continuación:

4.15.1.1 **Criterio de Información Akaike (AIC)**

De forma general, el concepto derivado de la información teórica de Akaike (1973), define la eficiencia de ajuste de los modelos con los datos empíricos. El índice penaliza los modelos posibles con exceso de parámetros. El principio de selección, será escoger los modelos con menor *AIC*.

El objetivo de este criterio es estimar la pérdida de información del modelo real cuando es ajustado a un modelo teórico. Cuantas más variables se agreguen al modelo, la aproximación al modelo “perfecto” será mucho mayor, pero el modelo será demasiado complicado. De igual manera muchas de las variables que pueden ser introducidas pueden no aportar mayor ajuste.

Haciendo uso del método de máxima verisimilitud como criterio de bondad de ajuste y el número de parámetros como medida de complejidad, el criterio de Akaike se define según la expresión (61):

$$AIC = -2(\ln(\mathcal{L})) + 2K \quad (61)$$

Donde \mathcal{L} es el valor de la función de máxima verosimilitud y K el número de parámetros independientes del modelo. El índice *AIC* es muchas veces medido como la diferencia entre el mejor modelo (el de menor *AIC*) y cada uno de los modelos. Así el mejor modelo tendrá un ΔAIC igual a cero (Burnham et al., 2003).

4.15.1.2 **Criterio de Información Bayesiano (BIC)**

Al igual que el *AIC*, este criterio se basa en la bondad de ajuste a través de la máxima verosimilitud y en la complejidad del modelo con el número de parámetros. Pero a diferencia de este, la penalización del sobreajuste debido al aumento de parámetros es mayor (Wang, 2006).

Este criterio fue propuesto por Schwarz (1978) y propuso penalizar la adición de parámetros del modelo propuesto respecto del modelo óptimo con el \ln del número de datos observados. De tal forma, se define el criterio BIC según la ecuación (62) como:

$$BIC = -2(\ln(\mathcal{L})) + \ln(n)K \quad (62)$$

Al igual que en la ecuación (61), \mathcal{L} es el valor de la función de máxima verosimilitud de las observaciones y K el número de parámetros independientes estimados para el modelo propuesto. Adicionalmente n es el tamaño de la muestra empírica. De igual manera se escogerán modelos con menor *BIC*.

4.15.2 Distribuciones Continuas Probadas

A continuación, se hace una breve descripción de las distribuciones candidatas a ser posibles ajustes:

4.15.2.1 Distribuciones GEV y GPD:

Las funciones de distribución de Valores Extremos, son funciones que pretenden considerar los valores atípicos de una muestra, los cuales, aunque presentan escasas frecuencias, tienen un alto impacto sobre la esta, especialmente sobre los valores de tendencia central tales como la media, la desviación y la simetría (Botero H., 2006).

El interés de estas funciones se centra en los valores ubicados en la “colas” (los excesos respecto de un umbral) donde se concentran los valores extremos. Es posible caracterizar los datos observados, sus distribuciones y colas, determinando el valor de un límite superior por sobre el cual se encontrarían los excesos.

En el caso de la *GEV* (Generalized Extreme Value Distribution), se parte de construir la serie de valores extremos de la variable a partir de los máximos (o mínimos) de cada uno de los bloques de amplitud fija en los cuales se agrupan previamente los valores. El problema que tiene es el buen número de datos que se descartan de cada intervalo ya que solo se reservan los máximos, así mismo se pueden producir errores a la hora de escoger el tamaño de los bloques (Serra, 2013).

La función de distribución acumulada (fda) para esta distribución tiene la expresión (63):

$$F(x) = e^{-\left[1 - \frac{\beta}{\alpha}(x - x_0)\right]^{\frac{1}{\beta}}} \quad (63)$$

Donde x_0 corresponde al parámetro de posición, α al parámetro de escala y β al parámetro de forma, el cual determina el espesor de las colas. A valores mayores del parámetro, corresponden colas más gruesas (Murillo Gómez, 2009).

La función de densidad de la función corresponde a la ecuación (64):

$$f(x) = F(x) \left[\frac{1}{\alpha} \left(1 - \frac{\beta}{\alpha} (x - x_0) \right)^{\frac{1}{\beta} - 1} \right] \quad (64)$$

La *GPD* (Generalized Pareto Distribution), considera otro enfoque en el que los valores extremos están por encima de un umbral adaptado a los datos observados. Las ecuaciones que la describen, función de distribución acumulada se expresa como (ecuación (65))

$$F(x) = 1 - \left[1 - \kappa \frac{(x - x_0)}{\alpha} \right]^{\frac{1}{\kappa}} \quad (65)$$

Donde κ , α son parámetros de forma y escala respectivamente y x_0 el parámetro de posición.

4.15.2.2 **Distribución exponencial**

Generalmente usada para describir tiempos de espera entre eventos esperados, la función exponencial se deriva de la *GEV*, si el parámetro de forma, $\beta = 0$ (Navidi, 2006).

Utiliza un único parámetro, lambda, $\lambda > 0$, que corresponde al número promedio de eventos que ocurren por unidad de tiempo.

La función de densidad (pdf) está dada para los valores de $x > 0$, según expresión (66):

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad (66)$$

Siendo cero para los demás valores.

Es interesante anotar que esta función es usada para calcular el tiempo que transcurre hasta que sucede un siguiente evento, sin tener en cuenta lo que ha sucedido antes del tiempo de partida considerado, por lo que es considerada una distribución 'memoryless' (Pishro, 2014).

La función de distribución acumulada es, según la expresión (67):

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad (67)$$

Igualmente, para valores de x mayores a cero y cero para los demás.

4.15.2.3 **Distribución Gamma**

Esta función, que generaliza la distribución exponencial, es otra de las posibles distribuciones de ajuste usada para representar variable aleatorias continuas que tienen asimetría positiva y que provienen de una muestra donde el tiempo está implicado (Muñoz, 2014).

La función gama describe los valores de $x > 0$ según su función de densidad, con dos parámetros k y λ mayores a cero, tal y como se refleja en la expresión (68):

$$f(x) = \frac{(\lambda x)^{k-1}}{\Gamma(k)} \lambda e^{-\lambda x} \quad (68)$$

Siendo $\Gamma(k)$ la función Gamma, definida para los valores del parámetro k , según expresión (69):

$$\Gamma(k) = (k - 1)! \quad (69)$$

La función de distribución acumulada $F(x)$ para una variable aleatoria de gamma se define para la integral de la función de densidad, para los valores de $x > 0$ por la ecuación (70):

$$F(x) = \int_0^x \frac{(\lambda x)^{k-1}}{\Gamma(k)} \lambda e^{-\lambda x} dx \quad (70)$$

4.15.2.4 **Distribución Log Normal**

La distribución normal logarítmica, es otra de las funciones que explica el comportamiento de variables con asimetría positiva, usada para casos donde la transformación logaritmo natural

de los valores de la variable aleatoria hace que el resultado se distribuya normalmente. Es decir que se tiene una distribución logarítmica normal si la función $y = \ln(x)$ tiene una distribución normal $[N(\mu, \sigma^2)]$ (Ji, 2011).

La función de densidad se define para valores mayores a cero según se expresa en la ecuación (71):

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln(x)-\mu)^2/2\sigma^2} \quad (71)$$

Con los parámetros media y varianza, μ y σ^2 , respectivamente.

La función de distribución de probabilidad, cuyos valores son posibles de obtener a través de tablas, corresponde a la integral de dicha función de densidad, como se enuncia en la ecuación (72):

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln(x)-\mu)^2/2\sigma^2} = \Phi\left(\frac{\ln(x)-\mu}{\sigma}\right) \quad (72)$$

Donde Φ corresponde a la función de distribución normal acumulada

4.15.2.5 **Distribución t Location Scale**

Esta distribución se utiliza para modelar series de datos que se distribuyen de forma acampanada, como la Normal, pero que presentan “colas pesadas”, es decir que los datos tienden a caer lejos de los valores medios (Nason, 2005).

Su función de densidad está descrita por la ecuación (73):

$$f(x) = \frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\sigma\sqrt{\nu\pi}\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)} \left[\frac{\nu + \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}{\nu} \right]^{-\left(\frac{\nu+1}{2}\right)} \quad (73)$$

Donde Γ es la función de distribución Gamma; μ , σ , ν son respectivamente los parámetros de posición, escala y forma de la distribución.

4.15.2.6 **Distribución Inversa Gaussiana**

Otra de las distribuciones asimétricas positiva y unimodales usadas es la distribución Inversa Gaussiana, cuya función de densidad (pdf), para valores de la variable aleatoria mayores a cero y con sus respectivos parámetros son μ y λ , ambos mayores a cero se muestra en la ecuación (74):

$$f(x) = \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi x^3}} e^{-\frac{\lambda}{2\mu^2 x}(x-\mu)^2} \quad (74)$$

Al igual que para la distribución log-normal, la función de distribución acumulada (fda) es posible escribirla en función de la distribución normal estándar (Φ). Dicha ecuación viene dada, para valores de x mayores a cero, por expresión (75):

$$F(x) = \Phi\left(\sqrt{\frac{\lambda}{x}}\left(\frac{x}{\mu} - 1\right)\right) + e^{\frac{2\lambda}{\mu}} \Phi\left(-\sqrt{\frac{\lambda}{x}}\left(\frac{x}{\mu} + 1\right)\right) \quad (75)$$

La metodología ha sido enunciada para un caso genérico. En el capítulo siguiente se seguirá la propuesta metodológica para el análisis de la distribución de caudales en una red de riego real, caso de estudio concreto en el que se probará su aplicabilidad.

5 RESULTADOS

5.1 Caso de estudio

La metodología desarrollada se ha aplicado para una red de riego a la demanda perteneciente a la Comunidad de Regantes Torreta-Segarra, situada en Callosa d'En Sarrià (Alicante). La zona está situada en la cuenca del río Guadalest en el interior de la comarca de la Marina Baixa, al norte de la provincia de Alicante (Figura 8).

El clima de la zona es mediterráneo seco con temperaturas que oscilan entre los 10°C y 25°C, con ausencia de temperaturas por debajo de 0°C, con una media entre 9 a 15°C. La precipitación en la zona es muy irregular con una media anual de 800 a 900 mm, aunque, los años de sequía extrema estos valores no superan los 100 mm (Ministerio de Agricultura, 1992).

La red de estudio riega 125 ha con agua procedente de un sondeo subterráneo, perteneciente a la unidad hidrológica del acuífero Serrella-Aixorta-Algar. El agua es almacenada en un depósito de riego de 4000 m³ aproximadamente, con cota suficiente para garantizar un mínimo de 30 mca para cada toma.

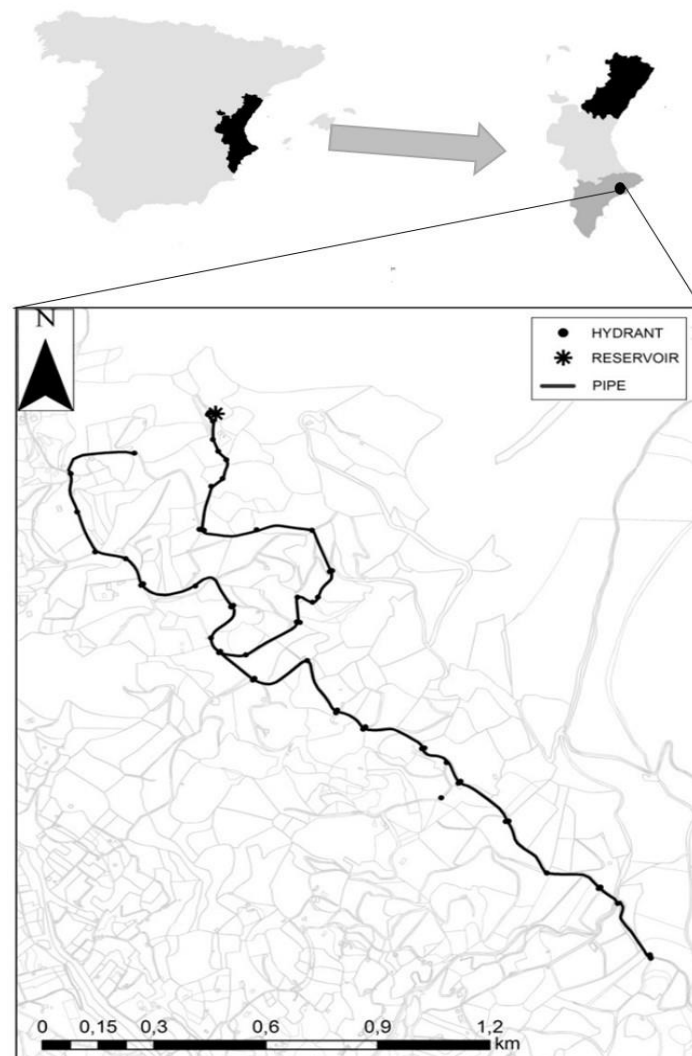


Figura 8. Localización y trazado de la red de riego

La red de riego fue proyectada para funcionamiento en régimen a la demanda. La componen tuberías de fibrocemento de DN250 y DN200. El trazado es estrictamente ramificado hasta la entrega final en las tomas asignadas a cada usuario.

La red cuenta con 34 hidrantes multiusuario, es decir que cada uno abastece varias tomas que derivan el agua hacia las diferentes parcelas. En su interior existe un colector del que se derivan las tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD) hacia cada una de las parcelas donde se encuentran las tomas de suministro. En cada una de ellas, está instalado un contador que permite la lectura de los volúmenes de agua utilizados.

Las superficies de las parcelas son bastante heterogéneas. En la Figura 9, se aprecia la distribución relativa de las parcelas respecto del total de la zona de riego según su superficie y el peso relativo de los rangos de tamaño de estas, según los datos proporcionados por la Comunidad de Regantes. En general, las parcelas son pequeñas, constituyendo más de un 60% de la superficie total irrigada los tamaños hasta 2 ha. Los valores extremos limitan el rango de superficies de parcelas entre un mínimo de 324 m² (0.03 ha) y los 82370 m² (8.24 ha). La superficie media regada por una toma del sistema es de 8760 m² (0.88 ha), con una desviación de 11186 m² (1.11 ha), la moda son 832 m² (0.08 ha), y la mediana 5523 m² (0.55 ha).

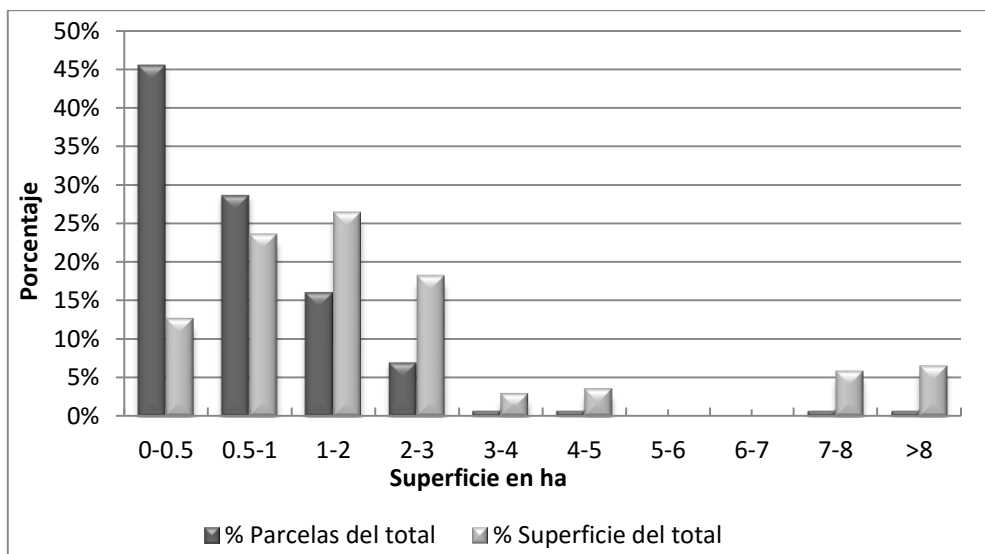


Figura 9. Distribución de las parcelas por tamaño

En total la red tiene 143 tomas que abastecen a cada una de las parcelas. La Tabla 4 resume los datos de cada uno de los ramales, nombrados según la vista del sistema desde el depósito de cabecera hacia aguas abajo.

Ramal	Superficie Total (ha)	Superficie Media (ha)	Nº de Parcelas	Nº de Hidrantes
Derecho	23.48	0.90	26	7
Izquierdo	17.03	1.00	17	8
Inferior	84.68	0.85	100	19

Tabla 4. Datos de Superficie, Parcelas e Hidrantes de la Red

Cada parcela puede estar dividida en 1, 2 o 3 sectores y el agricultor organiza los turnos de riego para cada uno como mejor le conviene, tal y como se supone en el riego a la demanda. En el Anexo 1, queda recogido el número de sectores de cada una de las parcelas, la superficie de cada una, así como el hidrante y la toma que le corresponden.

Actualmente el cultivo predominante en la zona de riego es el níspero japonés, con pequeñas parcelas localizadas donde se combina con el cultivo de aguacate. Por tanto, se toma este primero como la alternativa de cultivo característica de la zona para el cálculo de las necesidades de riego.

Originario del sudeste chino, el níspero japonés (*Eriobotrya japonica* Lindl), fue introducido en Europa en el siglo XVIII y debido a su buena respuesta en climas subtropicales y templados cálidos, ha tenido gran aceptación en la cuenca Mediterránea, especialmente en el Este y Sureste de la península Ibérica, donde se introdujo a través del Puerto de Sagunto y se difundió ampliamente por la zona del Levante (Ministerio de Agricultura, 1992).

Las demandas de agua del níspero japonés son altas en todos los períodos, con mayores necesidades en los períodos de engorde del fruto, siendo proporcionales al agua recibida durante esta última fase (justo antes de la recolección) las características organolépticas y el tamaño del fruto. En los cultivos intensivos actuales, el riego es imprescindible para desarrollar producciones en cantidad y calidad suficiente para que sea rentable su explotación.

5.2 Resultados según la Metodología Aplicada

5.2.1 Input 1: Volúmenes registrados en las tomas (C_i) - Consumos reales

Los datos de volumen registrados por los contadores en las tomas, corresponden a los volúmenes mensuales por toma, los cuales evolucionan de manera diferente para cada una en función del tamaño de la parcela, y las necesidades del cultivo. La Figura 10, muestra el volumen mensual demandado por varias tomas a lo largo del año de estudio. En la misma gráfica se ha trazado la distribución de volúmenes mensuales totales inyectados al sistema a lo largo de dicho año. Se aprecia que a pesar de las variaciones propias de cada toma, el consumo m^3/mes , para el período abril-mayo presenta un despunte de demanda, coincidiendo con la fase de maduración del fruto del níspero japonés, cultivo principal en toda la zona de riego (Gariglio et al., 2002).

Igualmente, se observa en la Figura 10, la evolución mensual del volumen total donde se muestra nuevamente que las mayores demandas se concentran entre abril y agosto, siendo bastante menores en el rango de septiembre a marzo, lo cual está relacionado con el estado de crecimiento del cultivo y la evolución de la evaporación de la zona que suponen un aumento de las necesidades de agua ligadas al aumento de las temperaturas y disminución de las lluvias en tiempos estivales.

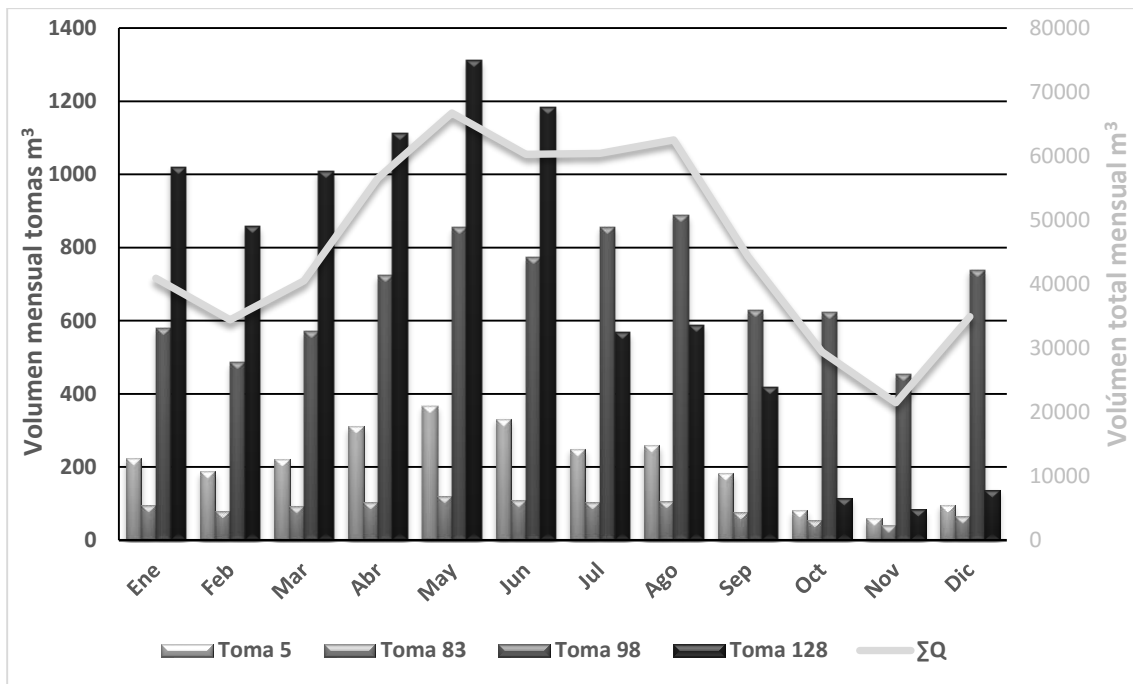


Figura 10. Evolución temporal del caudal demandado en 4 tomas de la red. Caudal total mensual en la Red.

El volumen total de agua demandado en la red para el período de estudio, año 2015, calculado como la suma de las demandas en las tomas, fue de 553066.1 m³, con una media de 367.9 m³/(ha mes) y una desviación típica de 118.3 m³/(ha mes), presentando un mínimo de 171.7 m³/ha en el mes de noviembre y un máximo de 532.9 m³/ha en el mes de mayo.

Los volúmenes mensuales pico aplicados en el año 2015 en las parcelas del sistema muestran que las tomas surtieron los mayores volúmenes en los meses de mayo y agosto, en un 46% y un 35% de los casos respectivamente.

En la Figura 11, se observan las frecuencias relativas agrupadas de los volúmenes mensuales de agua aplicada, durante cuatro meses en diferentes fases del cultivo. Resalta que además de los picos por hectárea para todo el período de estudio, se observa que los mayores volúmenes mensuales se han aplicado en los meses correspondientes al final de la maduración (mayo) y el período de máximas temperaturas (agosto).

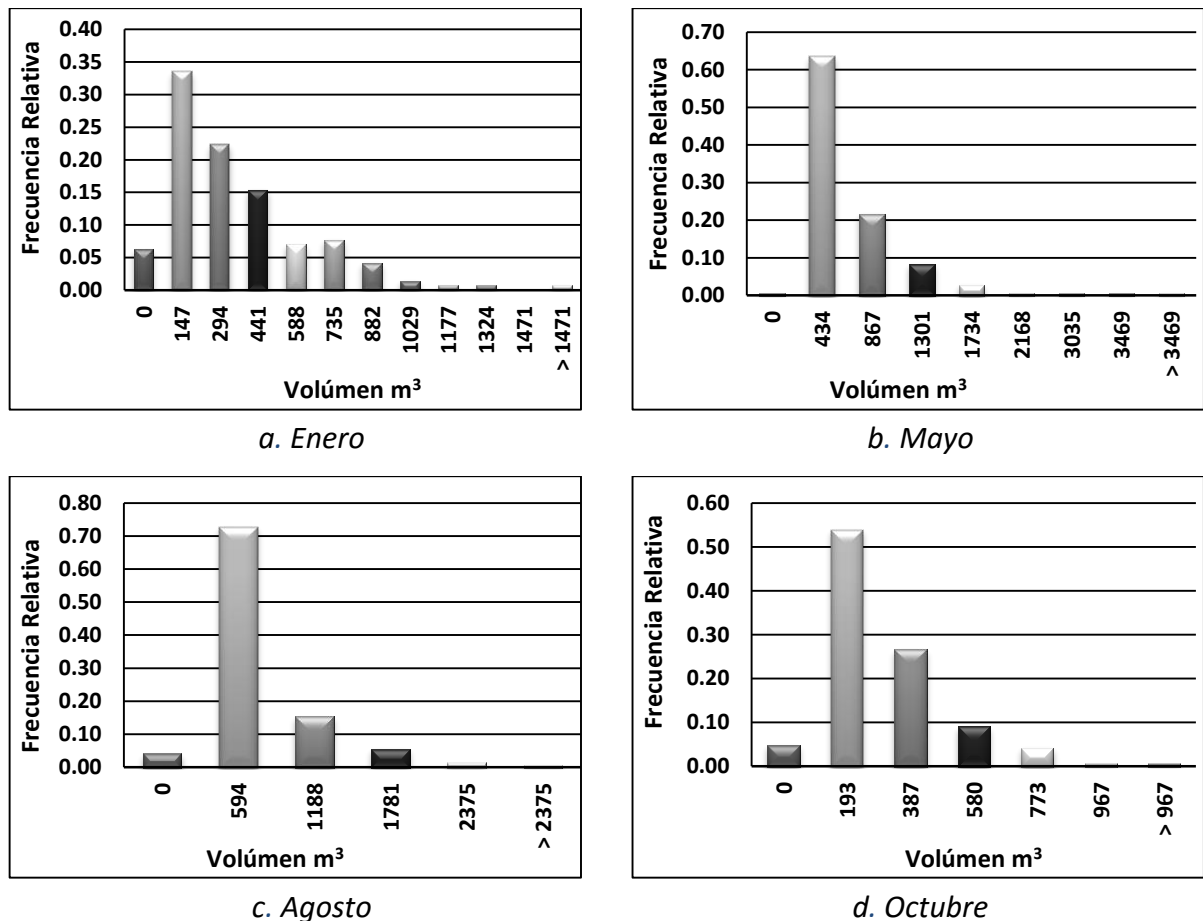


Figura 11. Frecuencias relativas de volumen mensual para cuatro meses en fases de crecimiento diferentes

5.2.2 Volumen consumido medio diario en cada toma (V_{di})

Se calculó para todas las tomas de la red el Volumen consumido medio diario de agua según la relación (39) de la metodología.

5.2.3 Input 2: Dotación Unitaria de riego (d_i)

5.2.3.1 Necesidades hídricas del cultivo

Es posible recuperar los datos meteorológicos para la Comunidad Valenciana, así como el valor calculado de ET_o , información en la que se fundamenta el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos, en la página del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) (Conselleria de Agricultura, 2016), los cuales se basan en los registros de las estaciones meteorológicas de la Red SIAR (Sistema de Información Agroclimática para Regadío), dentro de la cual, desde el año 2010, se encuentra incluida la estación agroclimática Callosa d'En Sarrià que cuenta con sensores de medición de temperatura, humedad, radiación, pluviometría, velocidad y dirección del viento.

Con dicha información, se calcularon las necesidades de riego del cultivo de níspero en la zona de estudio a partir de la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva. La

distribución de estas tres variables mes a mes se encuentra graficada en la Figura 12. El cálculo de dichos requerimientos de riego se encuentra resumido en el Anexo 2.

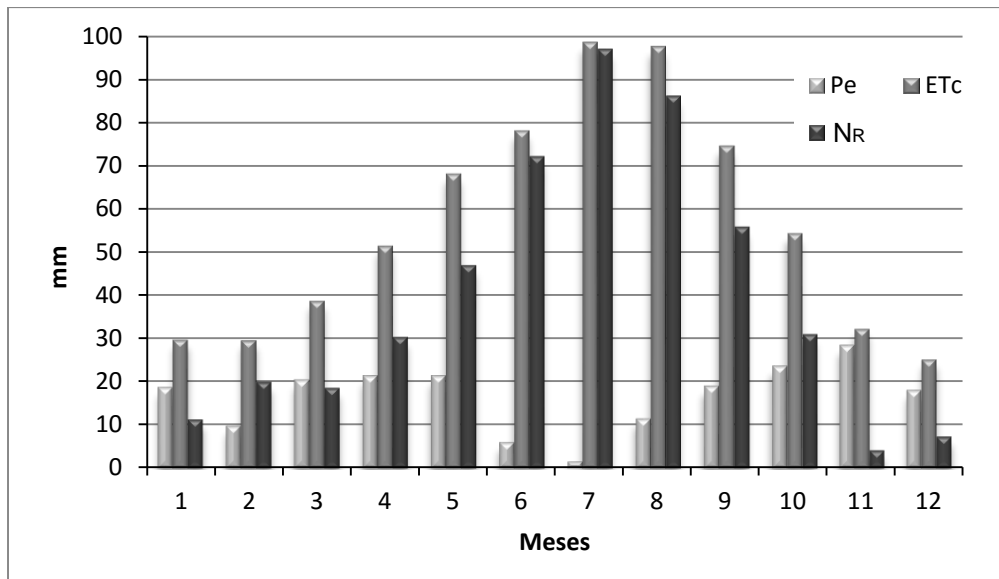


Figura 12. Distribución de las variables: Precipitación efectiva (Pe), Evapotranspiración del cultivo (ETc) y Necesidades de riego (N_R)

Tras los cálculos realizados, se determinó la curva de necesidades de riego en m^3/ha para las parcelas de la zona de riego. Las mayores necesidades se tienen para el mes de julio ($971.79 m^3/ha$), mientras que el mes de menores necesidades de riego es noviembre ($41.98 m^3/ha$)

Un esquema de las necesidades mensuales para el cultivo seleccionado comparado a los datos observados de volumen por hectárea del consumo en las tomas de la red se muestra en la Figura 13.

Se pueden observar claras diferencias entre ambas distribuciones mensuales, especialmente en los meses de verano, posteriores a la recolección, donde las solicitudes han sido mucho menores que el cálculo teórico de necesidades (en el mes de julio las necesidades calculadas superaron en un 101% a los consumos reales demandados por los agricultores). Sin embargo, para el mes de máximas necesidades de riego, mayo, los volúmenes aplicados por hectárea observados superan en un 11.8% a los calculados. Teniendo en cuenta que la red se ha debido diseñar según la metodología aplicada, para el mes de demanda punta, habrá que tenerse en cuenta que para este caso de estudio el dato calculado de necesidades de riego subestima las necesidades de riego que realmente se observaron en el período de estudio para dicho mes (mayo).

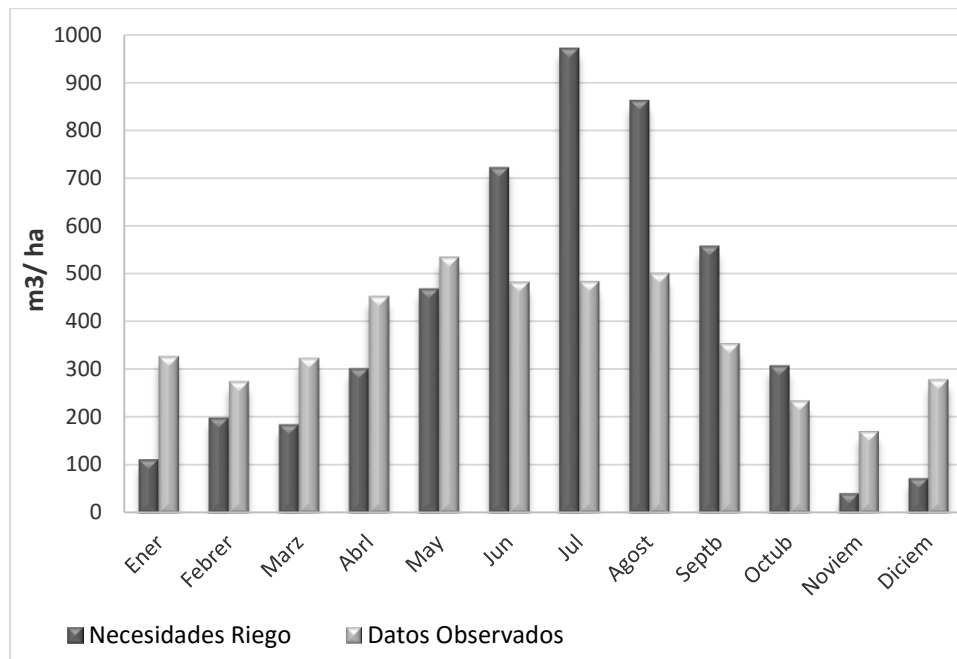


Figura 13. Necesidades de Riego para Níspero – Datos Observados. (Modificado: Datos IVIA)

5.2.3.2 Dotación Unitaria de Riego

Se obtuvo el valor de dotación unitaria correspondiente al marco de plantación mayoritario de la zona, de dimensiones 4.5x5 m. Dicho valor de la dotación es 2.71 l/(s·ha), para goteros tipo de 4 l/h, 5 goteros por árbol.

Los cálculos realizados para cada alternativa planteada se recogen en la Tabla 5 donde se resalta los cálculos para la dotación seleccionada.

Dim. 1 (m)	Dim. 2 (m)	Gotero Tipo (l/h)	Nº de Goteros /Árbol	Nº Árboles Dim 1	Nº Árboles Dim 2	Nº Árboles/ ha	Dotación l/s/ha
7	7	4	4	15.29	15.29	233.65	1.04
6	6	4	4	17.67	17.67	312.11	1.39
6	6	4	5	17.67	17.67	312.11	1.73
4.5	5	4	5	23.22	21.00	487.67	2.71
3	5	4	5	34.33	21.00	721.00	4.01

Tabla 5. Cálculo de dotaciones por hectárea en función del marco característico.

5.2.4 Caudales asignados a las tomas (q_{di})

Los caudales asignados de dotación de cada toma, se han calculado según la metodología propuesta, en función del área de la parcela (S_i) y el número de sectores en que está dividida el área a regar (n), de tal forma que dicho caudal resulta de la ecuación (43), para el marco de cultivo característico que tiene la expresión (76):

$$q_{di} = 2.71 \frac{S_i}{n} \quad (76)$$

El rango de valores para los caudales de demanda en cada parcela fluctúa entre un mínimo 0.09 l/s y un máximo de 4.46 l/s, con una media de 0.83 l/s.

En general los caudales que se asignan a cada toma son inferiores a la media, siendo el valor que más se repite, el de 0.23 l/s. El 50% de los datos se encuentran por debajo de 0.83 l/s. Los caudales asignados a todas las tomas del sistema se reflejan en el Anexo 1.

5.2.5 Tiempos de riego (t_{ri})

Según los resultados obtenidos para los tiempos de riego calculados a partir de los volúmenes diarios aplicados y los caudales de demanda asignados, según lo indicado en la metodología en la ecuación (45), se observa que la duración de apertura diaria de las tomas en la zona, utilizadas para que los cubrir las exigencias de irrigación de los cultivos en cada uno de los meses de estudio, son muy inferiores al tiempo disponible de uso de la red (24 horas).

En el sistema de estudio, el promedio de horas diarias de funcionamiento de las tomas es de 3.22 horas/día, con un máximo de 18.37 horas/día. El 50% de los valores se encuentran por debajo de 2.42 horas/día. Se ha encontrado que varias tomas no entraron en funcionamiento durante la totalidad del mes (9 tomas en los meses de enero, febrero y marzo; 1 toma en abril, mayo y junio; 6 tomas en julio, agosto y septiembre; 7 tomas en octubre, noviembre y diciembre), lo que indica que los usuarios decidieron que no era necesario irrigar dichas parcelas en el período indicado.

La Figura 14 muestra la distribución de tiempos de riego para tres tomas diferentes del sistema a lo largo del año de estudio. Se observa la relación entre la duración del riego y la fase de crecimiento del cultivo, ya que existe un aumento considerable de la duración del riego hacia los meses de maduración en el período de primavera entre abril y junio con un decaimiento en el período otoñal donde el aumento de las precipitaciones hace que los requerimientos de agua de riego sean inferiores.

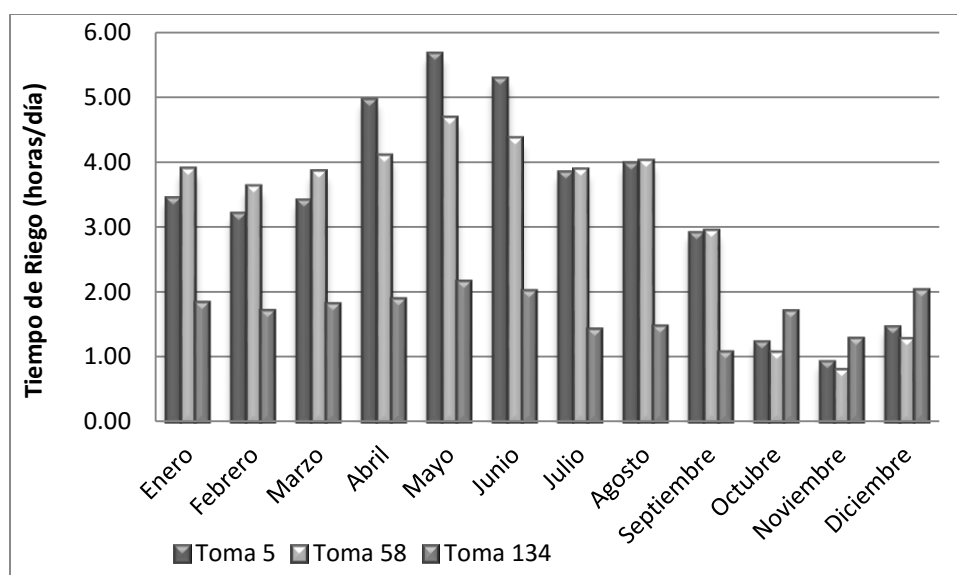


Figura 14. Tiempos de riego mensual para tres tomas de la red

Los cálculos de los tiempos de riego mensual para cada toma de la red se adjuntan en el Anexo 3.

5.2.6 Parámetros teóricos de Clément: media (μ) y desviación estándar (σ)

5.2.6.1 Probabilidad de funcionamiento de las tomas (p_i)

Tras calcular los tiempos de riego y considerando que los usuarios pueden disponer de las tomas sin ningún tipo de restricción durante las 24 horas diarias, se ha calculado la probabilidad mensual de apertura para cada toma según la relación de tiempos de riego y tiempo disponible de la red (para el caso 24 horas) según la ecuación (7):

Como se había mencionado, se ha considerado que la probabilidad es uniforme durante cada mes, es decir es la misma a lo largo de todas las horas del día de todos los días de dicho mes. La Figura 15 proporciona un gráfico de la distribución de probabilidades mensuales en el período de estudio para tres tomas diferentes del sistema.

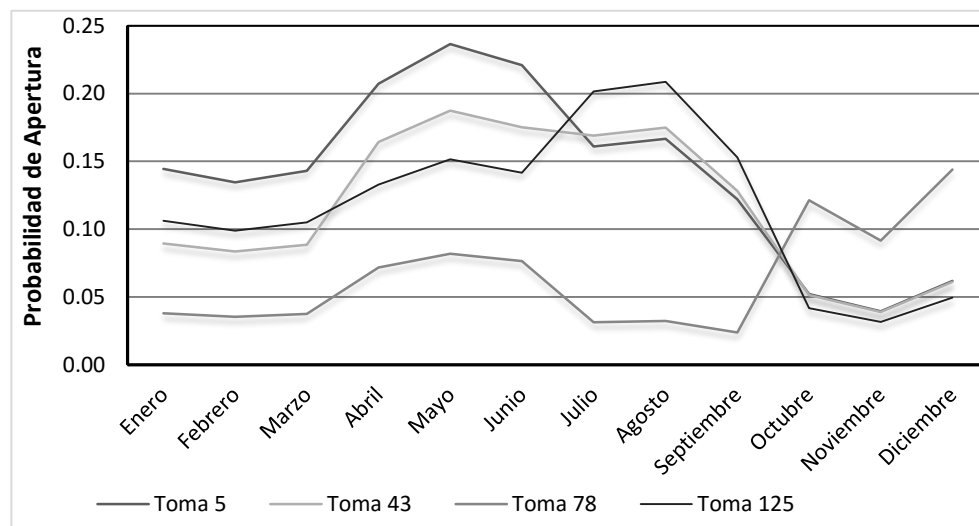


Figura 15. Probabilidad de apertura mensual para tres tomas de la red

Los resultados obtenidos muestran un valor de la probabilidad media de apertura para las tomas de 0.13 a lo largo del año de estudio, con una desviación estándar de 0.12 y un máximo de 0.77. La Figura 16 refleja los valores promedio de las probabilidades de apertura para el conjunto de las tomas de la red en el año de estudio.

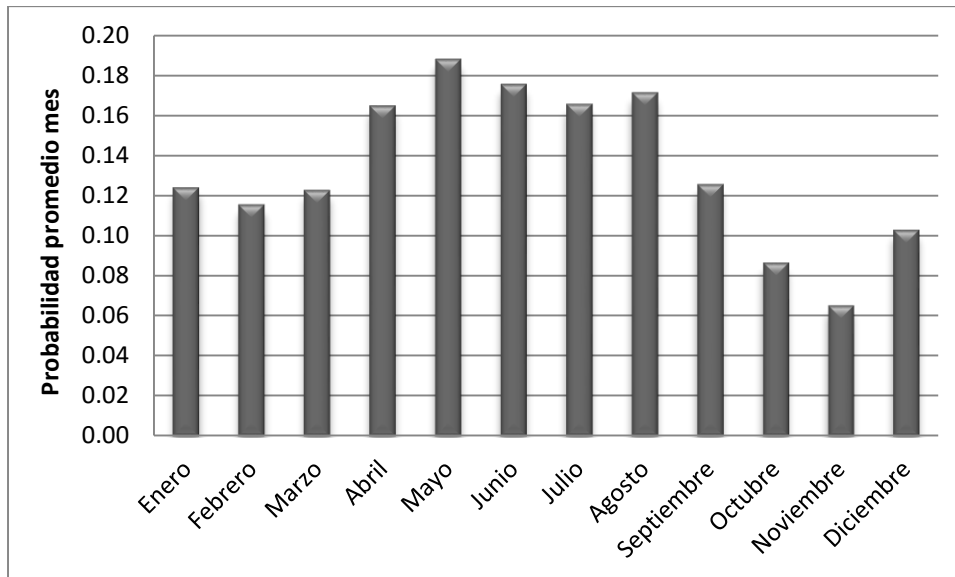


Figura 16. Probabilidad promedio mensual de todas las tomas de la red

El conjunto de los cálculos de probabilidad para todas las tomas se encuentra en el Anexo 3.

5.2.6.2 Parámetros de la distribución Normal Teórica ($\mu - \sigma$)

Para verificar el supuesto de normalidad de los caudales aguas abajo de la línea de estudio esgrimido por el modelo teórico, se han obtenido para cada uno de los meses los valores de la media y la desviación estándar, parámetros necesarios para poder comparar con la distribución normal de Clément.

Los resultados de dichos cálculos se encuentran resumidos en la Tabla 6.

JER	24 HORAS
G. S	95 %
U	1,64

Id Mes	Mes	μ	σ^2	σ	Q Clément (l/s)
1	Enero	15,29	12,99	3,60	21,22
2	Febrero	14,24	12,31	3,51	20,01
3	Marzo	15,12	12,89	3,59	21,03
4	Abril	21,83	18,64	4,32	28,93
5	Mayo	24,91	19,82	4,45	32,23
6	Junio	23,26	19,23	4,39	30,47
7	Julio	22,56	19,28	4,39	29,78
8	Agosto	23,35	19,53	4,42	30,62
9	Septiembre	17,11	16,75	4,09	23,84
10	Octubre	10,99	11,45	3,38	16,56
11	Noviembre	8,29	9,00	3,00	13,23
12	Diciembre	13,05	13,15	3,63	19,01

Tabla 6. Parámetros de la Distribución de Caudales de Clément

Los cálculos completos de los parámetros se han adjuntado en el Anexo 3.

5.2.7 Distribuciones Normales teóricas de Clément

Se calcularon los valores esperados de distribución normal teórica para los datos observados según la ecuación (47), función de densidad para la distribución normal con los parámetros de Clément calculados para cada mes.

La Figura 17 muestra el trazado de la distribución esperada para los caudales del mes de máximo consumo, mayo. En el Anexo 4 se pueden observar los diagramas de la distribución teórica comparados con las distribuciones observadas para cada mes.

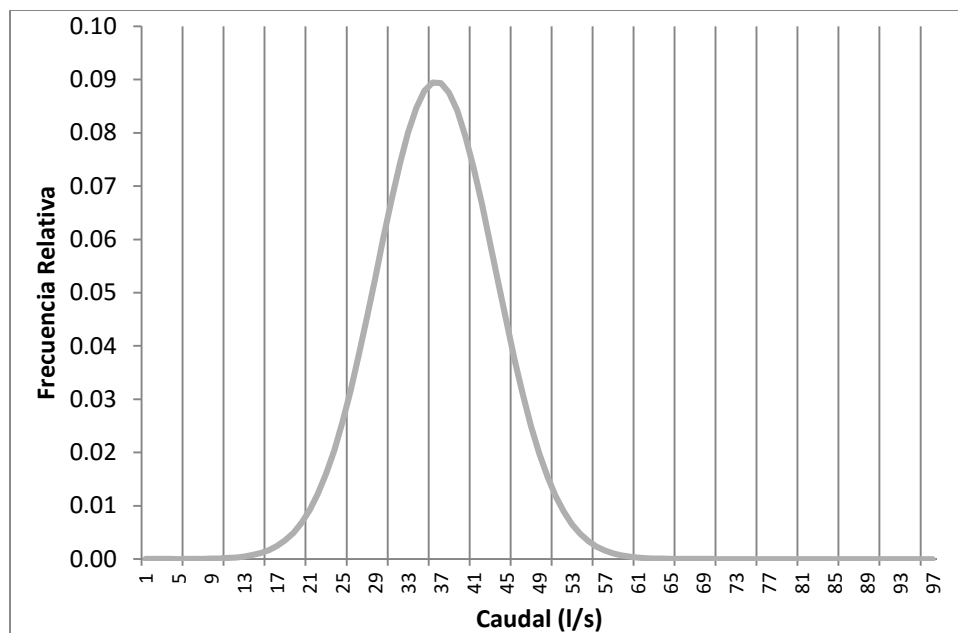


Figura 17. Distribución Normal de Clément - Mayo

5.2.8 Input 3: Caudales observados en la línea principal de la red

En la Figura 18 y la Figura 19 se puede observar la evolución de caudales inyectados a la red durante los meses de abril y diciembre del período de estudio.

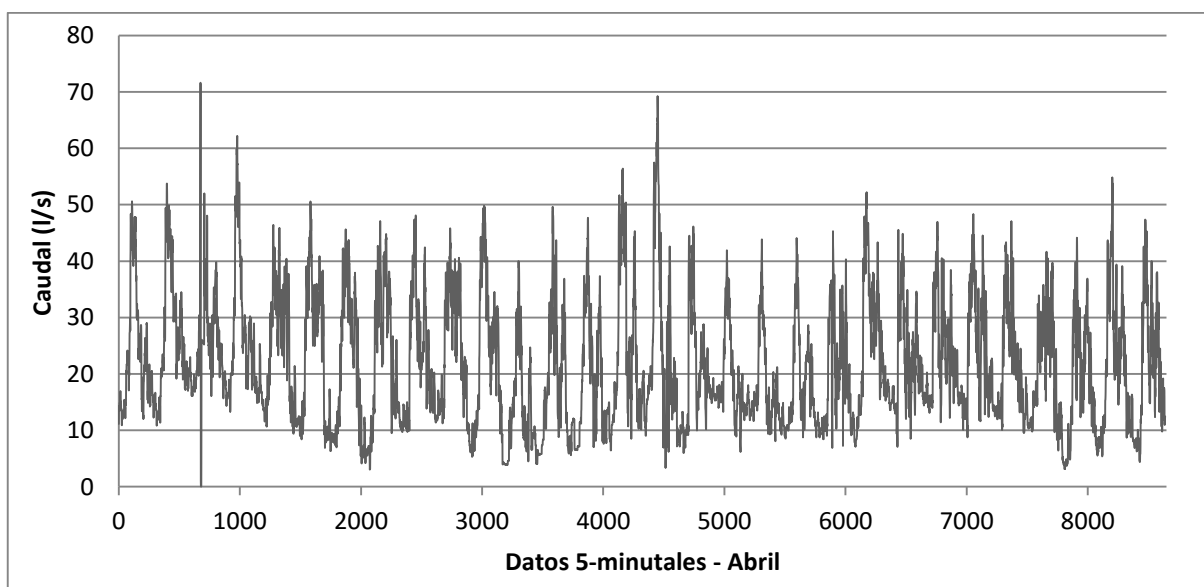


Figura 18. Datos de Caudales registro cinco-minutal – Abril 2015

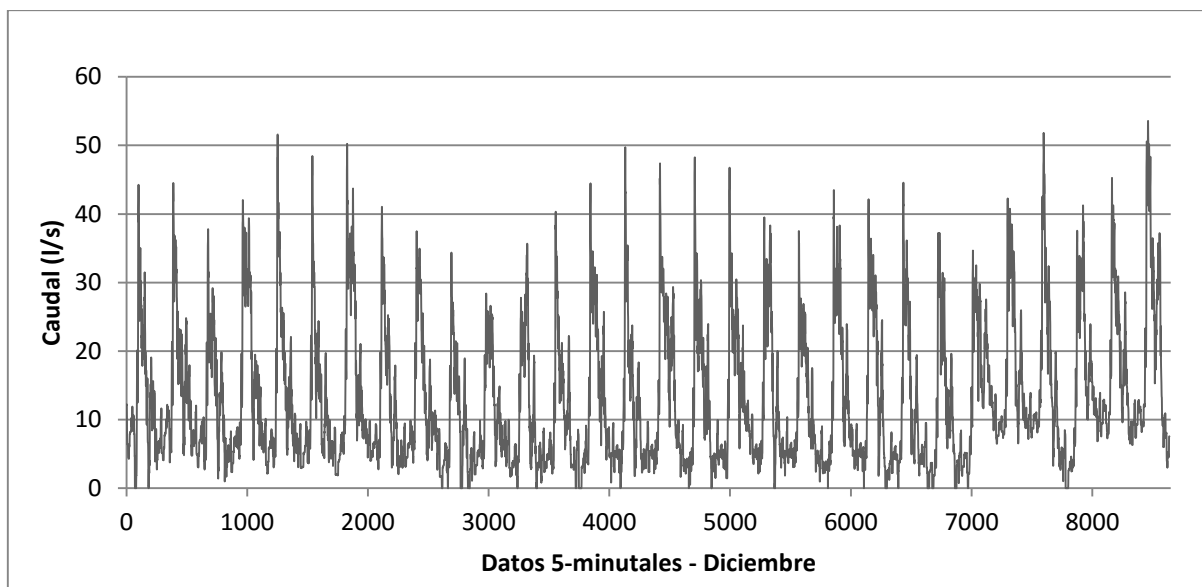


Figura 19. Datos de Caudales registro cinco-minutal – Diciembre 2015

De igual manera, en la Figura 20 , se puede apreciar que a pesar de la aleatoriedad en la apertura de las tomas y la flexibilidad que una red de riego a la demanda permite a los agricultores, del volumen de agua suministrada para dichos meses, se ha inyectado a la red de manera muy proporcionada cada uno de los días de la semana. Es interesante resaltarlo, ya que nos puede dar una idea del comportamiento hidráulico del sistema donde los agricultores, no prefieren ningún día de la semana en el uso de la red, esto se debe fundamentalmente, a que la gran mayoría de las parcelas se encuentran automatizadas con programadores de riego.

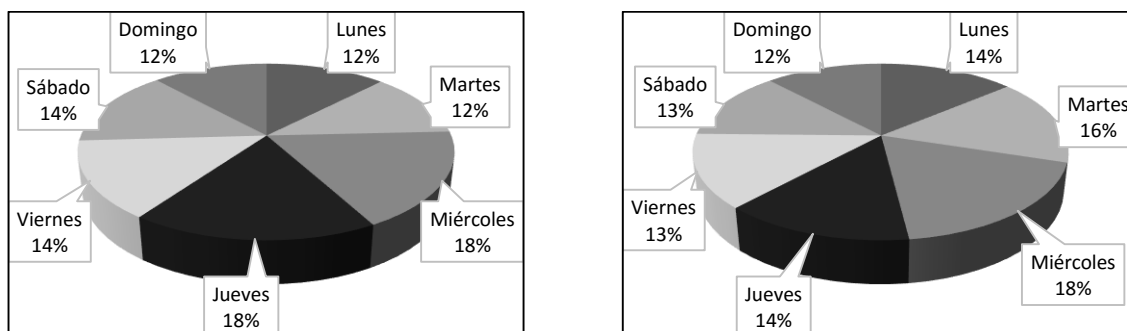


Figura 20. Distribución semanal del volumen mensual inyectado. Dcha. Abril – Izqda. Diciembre - Dcha

La Figura 21, muestra la evolución de caudales a lo largo de cuatro días de los periodos de baja demanda (febrero, marzo) y de alta demanda (mayo y agosto). Se puede observar que las aperturas de las tomas tienden a concentrarse en ciertas horas del día con dos modas de consumo, una absoluta en las horas de la mañana y otra relativa en las de la tarde.

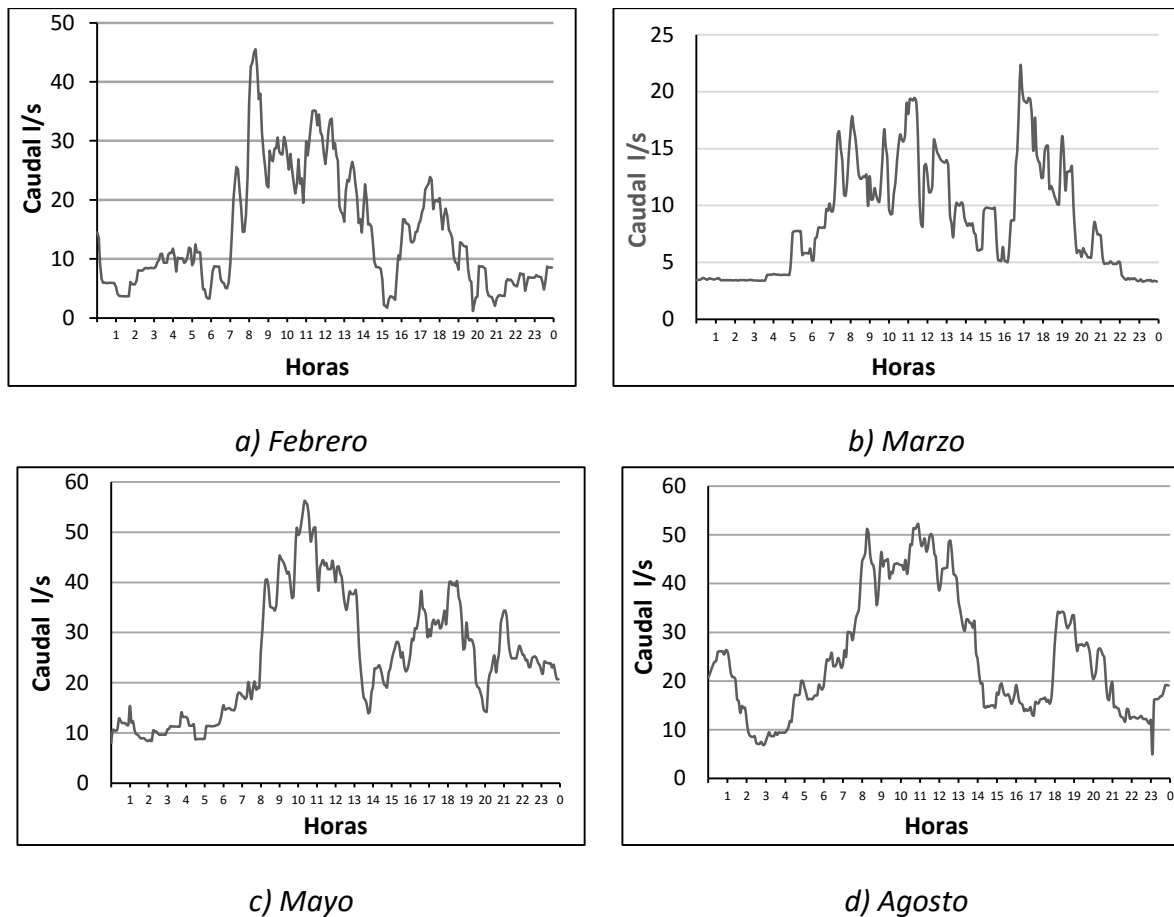


Figura 21. Evolución diaria de la demanda. Meses de baja demanda (febrero, marzo). Meses punta (mayo, agosto).

5.2.9 Tablas de Frecuencia de los datos observados

Se procesaron los datos recogidos por el caudalímetro en la línea de entrada al sistema, realizando las respectivas tablas de frecuencia para cada mes

El número de clases equivalente a \sqrt{n} para cada mes se encuentra entre 90 y 95, en función del total de datos, que depende de los días de cada mes, teniendo registrados los datos de caudal todos los días cada cinco minutos.

En la Figura 22 se observan la distribución de las frecuencias observadas para todos los datos registrados cada 5 minutos en el mes de enero.

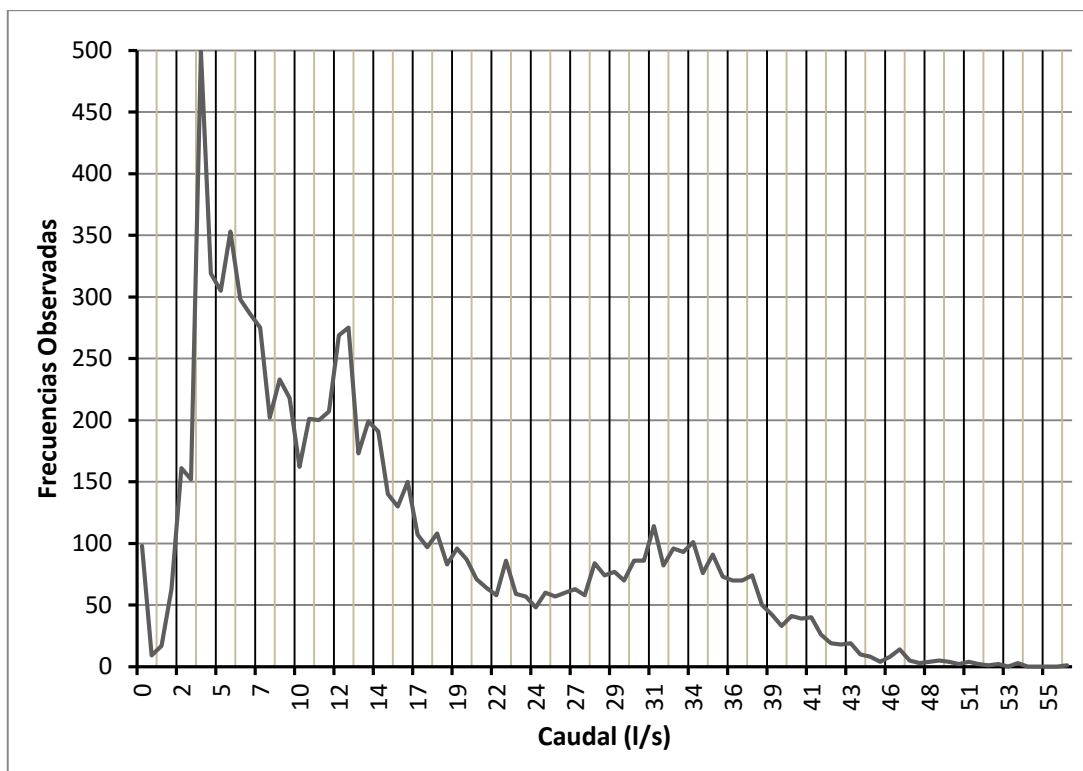


Figura 22. Gráfica de frecuencias observadas – Ejemplo del mes de enero

5.2.10 Comparación estadística de los datos reales y teóricos

5.2.10.1 Histogramas de frecuencia de los datos observados

En primer lugar, se usaron las tablas de frecuencias agrupadas con el fin de construir los histogramas correspondientes a cada uno de los meses analizados, para los datos de caudal (l/s) registrados cada cinco minutos en la línea de cabecera, los cuales siguen el formato de la Figura 23.

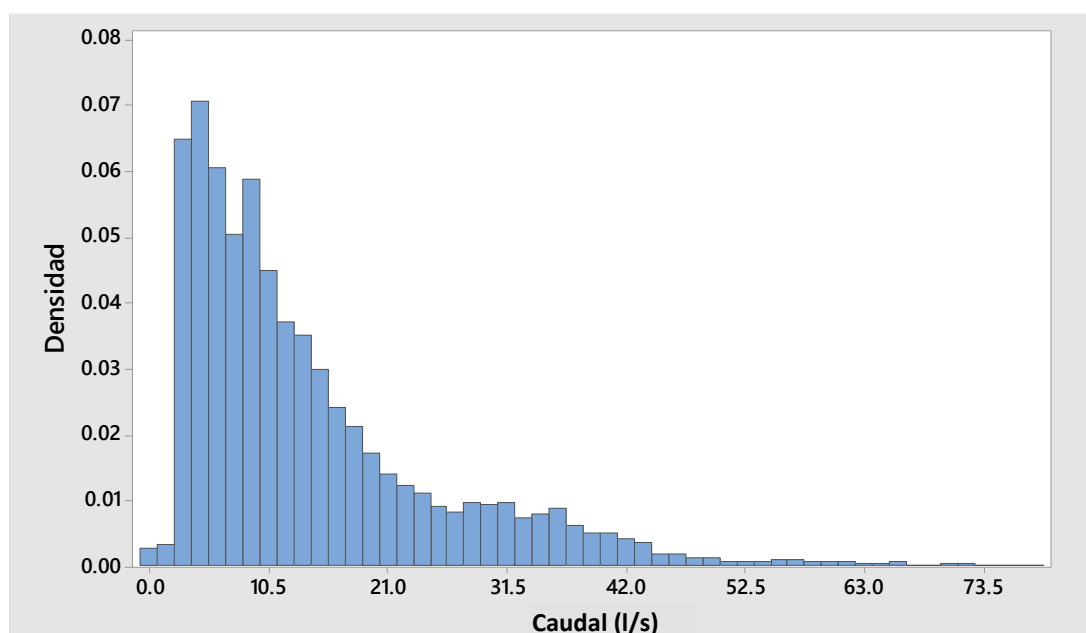


Figura 23. Histograma de frecuencias observadas. Ejemplo del mes de febrero

Las medidas de Curtosis y Asimetría aportaron valores que, en principio, podrían mostrar que las distribuciones de los caudales observados tienen una cercanía a la distribución normal. Sin embargo, a la luz de las gráficas observadas, no se puede conjeturar la suficiente evidencia para determinar un ajuste a dicha distribución. Un dato importante es que para el mes de abril se encontró el menor valor de asimetría respecto de la normal (0.722) así como de Curtosis (0.073), lo que podría indicar que los datos observados para dicho mes no se encuentran tan alejados de un trazado según la distribución normal.

Un resumen de estas medidas para los datos observados se aporta en la Tabla 7.

Mes	Curtosis	Asimetría
Enero	-0.365	0.844
Febrero	2.970	1.631
Marzo	0.618	1.131
Abril	0.073	0.722
Mayo	-0.424	0.748
Junio	0.146	0.856
Julio	0.515	1.028
Agosto	0.385	0.960
Septiembre	0.992	1.287
Octubre	2.217	1.548
Noviembre	3.276	1.702
Diciembre	0.555	1.128
Promedio	0.913	1.132
Máximo	3.276	1.702
Mínimo	0.073	0.722

Tabla 7. Resumen Mensual de las medidas de Curtosis y Asimetría Datos Observados

La comparación de los diagramas de frecuencias mensuales observadas con las distribuciones normales teóricas, muestra que no se consiguen un patrón de ajuste con la curva Gaussiana de Clément para ninguno de los meses de estudio, tal y como se evidencia en las Figura 24 y Figura 25 para el mes de febrero y para el mayo, mes de máximo consumo.

Los histogramas mensuales muestran una acumulación de los datos hacia la derecha de la media, donde se acumulan las frecuencias más altas, desarrollando colas largas izquierdas para las frecuencias bajas, mostrando una asimetría positiva para todos los casos.

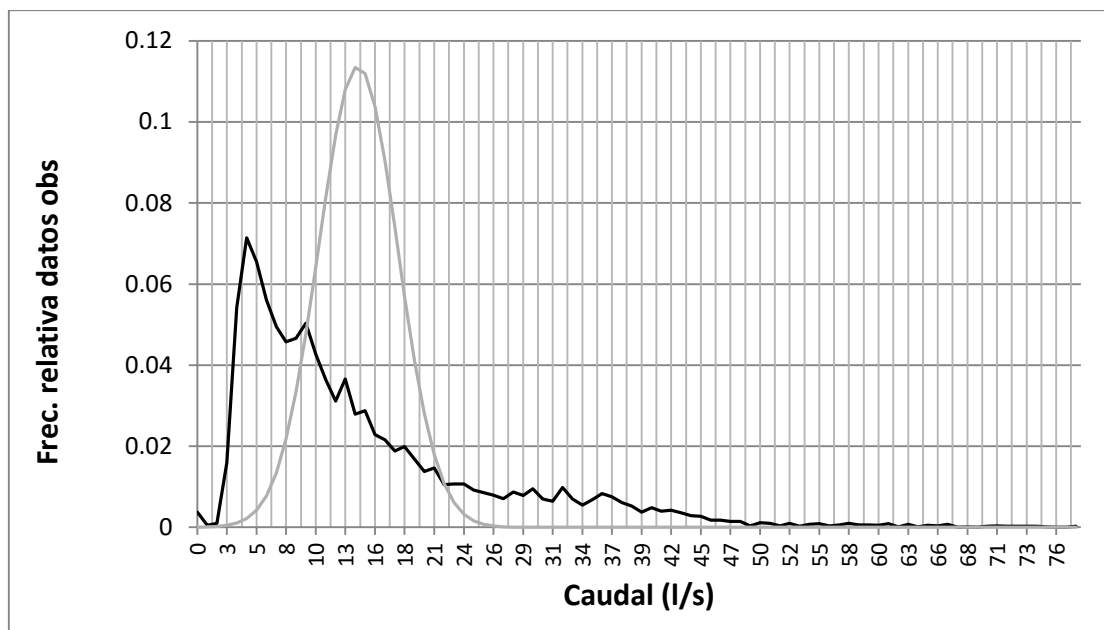


Figura 24. Distribuciones de frecuencias observadas y teóricas – Ejemplo mes de febrero

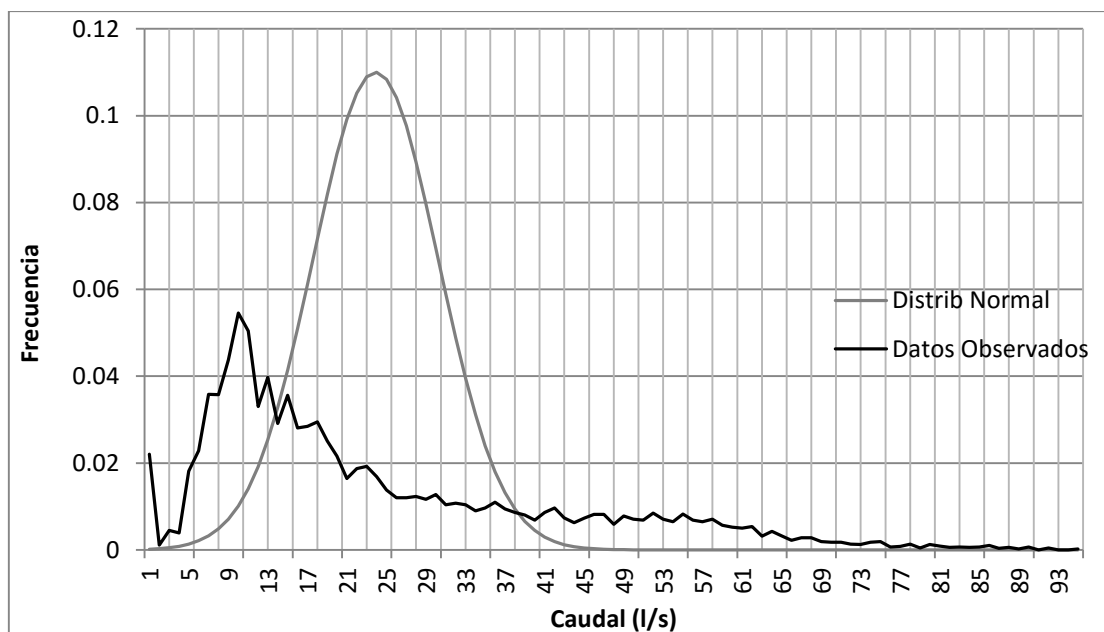


Figura 25. Distribuciones de frecuencias observadas y teóricas. Ejemplo del mes de mayo

Los histogramas mensuales con los respectivos valores de Curtosis y Asimetría y los diagramas de comparación citados para todo el período de estudio se reflejan en el Anexo 4, donde también se muestran las tablas de estadística descriptiva para todos los meses.

En este caso de estudio, estos caudales registrados resultan inferiores a los calculados por la aplicación de la metodología de Clément para la dotación máxima de las tomas y la Garantía de Suministro del 95%.

A la vista de los gráficos, es posible considerar que la distribución Normal de Clément puede no ajustar a las demandas reales de la red de riego analizada, pudiendo considerarse que no se cumple la hipótesis de normalidad.

5.2.10.2 Q-Q plots

El primer procedimiento de ajuste utilizado, tras la inspección visual de los histogramas anteriores, ha sido la técnica representativa *Q-Q plot*, o gráfica de probabilidad de cuantiles. Como se cita en la metodología (apartado 4.4.1.2), los gráficos fueron generados usando el programa *MATLAB*. Los productos obtenidos son como los que se muestran en la Figura 26 y Figura 27, adjuntos en el Anexo 4.

Se ha establecido la distribución Normal con los datos del cálculo de Clément, como distribución de prueba de verificación, la cual se comparó con los datos de caudal observados, en l/s.

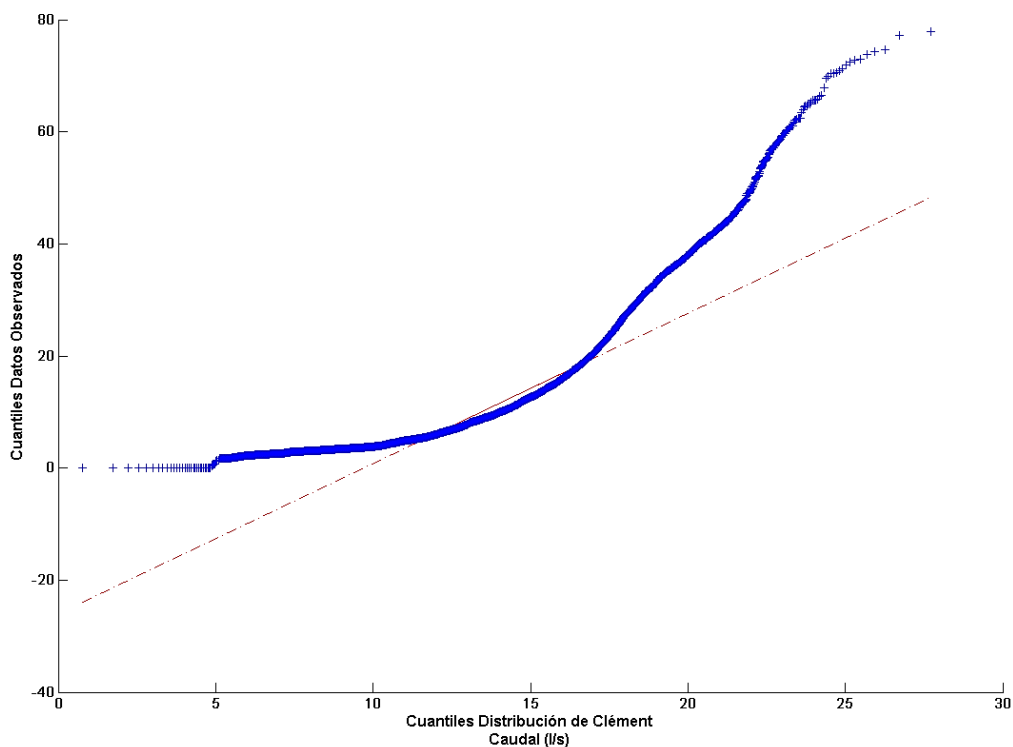


Figura 26. Gráfico de probabilidad. Ejemplo de *Q-Q plot* del mes de febrero

Los datos en este gráfico definen un patrón curvo en forma de arco, lo cual indica asimetría. Tienen pendiente creciente de izquierda a derecha y la parte final de los datos a izquierda y derecha se encuentra por encima de la línea de referencia. Estas apreciaciones llevan a pensar que los datos no presentan un ajuste plausible a la distribución teórica normal, y por el contrario, presentan una asimetría positiva con colas a ambos lados de la distribución de datos.

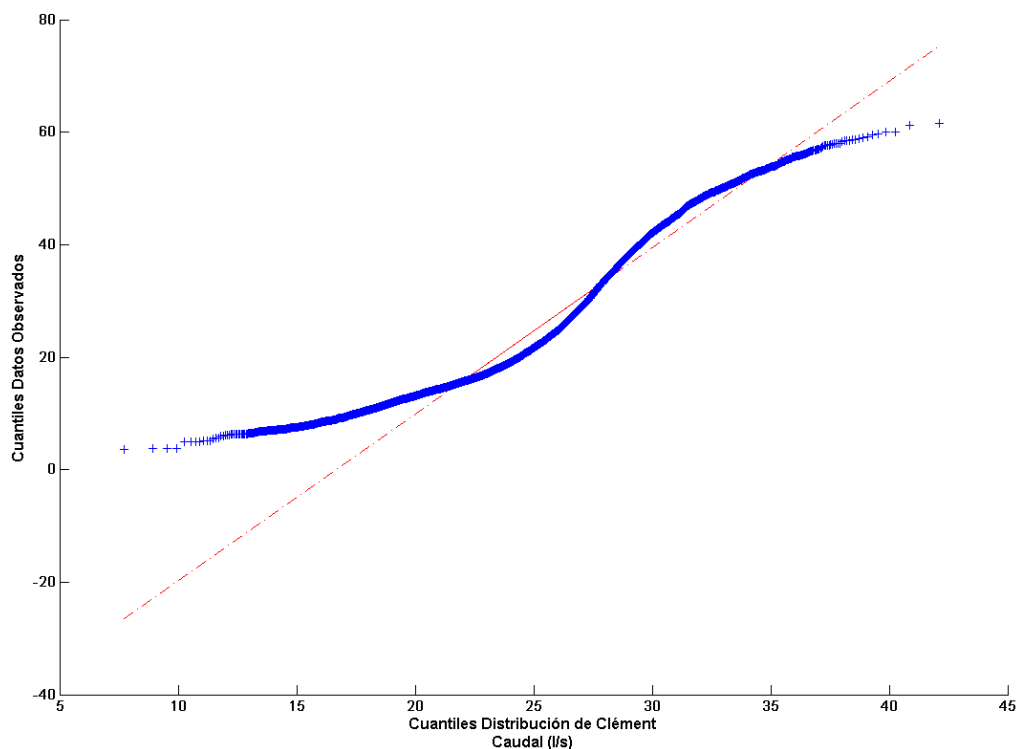


Figura 27. Gráfico de probabilidad. Ejemplo de Q-Q plot del mes de mayo

El gráfico de probabilidad para el mes de máxima demanda, mayo (Figura 27), también muestra una distribución de datos con asimetría derecha. Esto se puede deducir igualmente, de la forma de arco ascendente de izquierda a derecha. Los datos por encima y por debajo de la línea indican también la presencia de colas a ambos lados de la distribución.

El mejor ajuste observado se tuvo en el mes de abril (Figura 28). En el gráfico se observa que para valores superiores a la media (21.8 l/s) los valores de caudal observado parecen alinearse sobre la recta de referencia, indicando que podrían seguir la distribución teórica. Se vuelve a observar sin embargo una gráfica en arco ascendente, menos pronunciado, lo que indica también la presencia de asimetría positiva de la muestra.

Los resultados obtenidos para todos los meses no aportan consistencia para afirmar que para ninguna de las muestras estudiadas los datos se puedan ajustar a la distribución teórica de Clément, como lo afirma la hipótesis H_0 que se desea verificar, puesto que la mayoría de los datos no se trazan sobre la línea de probabilidad y presentan formas de arco tales que los ejemplos analizados. El compendio de gráficos Q-Q plot para todos los meses del año 2015, se presentan en el Anexo 4.

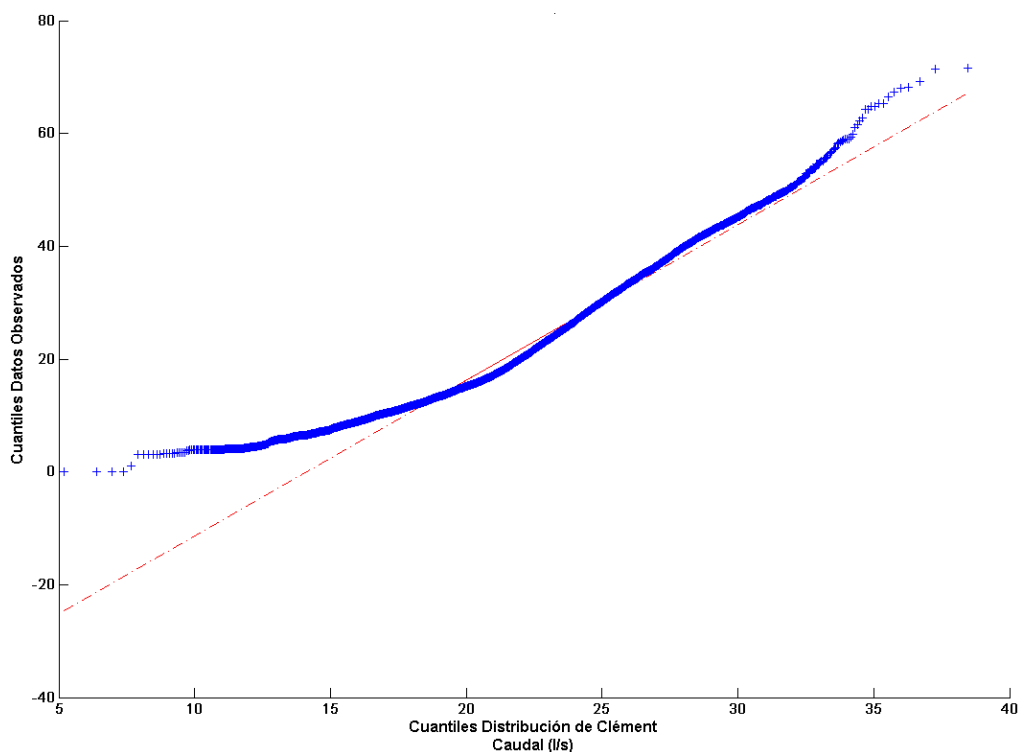


Figura 28. Gráfico de probabilidad. Ejemplo de Q-Q plot del mes de abril

5.2.10.3 Prueba Chi-cuadrado (χ^2)

Los cálculos para la Prueba χ^2 se hicieron mediante el software EXCEL, cuyos resultados mensuales se resumen en la Tabla 8. La columna χ^2 se refiere al valor calculado del estadístico para cada mes, k el número de clases agrupadas, GdL a los Grados de libertad correspondiente al valor $k-1$, y χ^2 Crítico al valor tabulado del estadístico en función de los grados de libertad.

Los valores de Chi-crítico pueden ser calculados directamente por EXCEL con la función "INV.CHICUAD.CD" para el valor de α elegido (Probabilidad de la cola derecha de la distribución Chi-cuadrado, valor que para el proyecto se eligió como 0.05) y respectivos Grados de Libertad ($k-1$) para cada muestra mensual.

Id Mes	Mes	χ^2	k	GdL	χ^2 Crítico	H ₀
1	ENERO	605597.9	39.00	38.00	53.38	NO SE ACEPTA
2	FEBRERO	295831.3	27.00	26.00	38.89	NO SE ACEPTA
3	MARZO	341635.2	35.00	34.00	48.60	NO SE ACEPTA
4	ABRIL	208589.6	36.00	35.00	49.80	NO SE ACEPTA
5	MAYO	238564.9	45.00	44.00	60.48	NO SE ACEPTA
6	JUNIO	318253	35.00	34.00	48.60	NO SE ACEPTA
7	JULIO	150466.1	44.00	43.00	59.30	NO SE ACEPTA
8	AGOSTO	240423.8	43.00	42.00	58.12	NO SE ACEPTA
9	SEPTIEMBR	236153.2	41.00	40.00	55.76	NO SE ACEPTA
10	OCTUBRE	198566.9	37.00	36.00	51.00	NO SE ACEPTA
11	NOVIEMBRE	170031.5	23.00	22.00	33.92	NO SE ACEPTA
12	DICIEMBRE	263007.3	42.00	41.00	56.94	NO SE ACEPTA

Tabla 8. Resultados Prueba χ^2

Como se estableció en la metodología, si los valores de $X_{calculado}^2$ son menores que $X_{crítico}^2$, entonces la hipótesis H_0 se acepta.

Dado que los valores $X_{calculado}^2$ son muy grandes y muy alejados del valor $X_{crítico}^2$, los resultados de comparación con la prueba Chi-cuadrado nos llevan a rechazar la H_0 : “Los datos observados provienen de la distribución Normal teórica”, ya que hay evidencia de una congruencia pobre entre los valores observados y los esperados para la distribución modelo.

Aunque los valores se encuentran muy alejados, el mes de julio tuvo el menor valor de χ^2 calculado (150466.1). Aun así es un valor muy grande en relación al valor $\chi^2_{crítico}$ para dicho mes (59.30).

Además de los cálculos hechos, para enfatizar de forma visual los resultados de esta prueba de ajuste, se procedió a realizar los cálculos del test Chi-cuadrado en el programa EXCEL del cual se recuperaron las gráficas, como la mostrada para el mes de julio y mayo en Figura 29 y Figura 30 respectivamente.

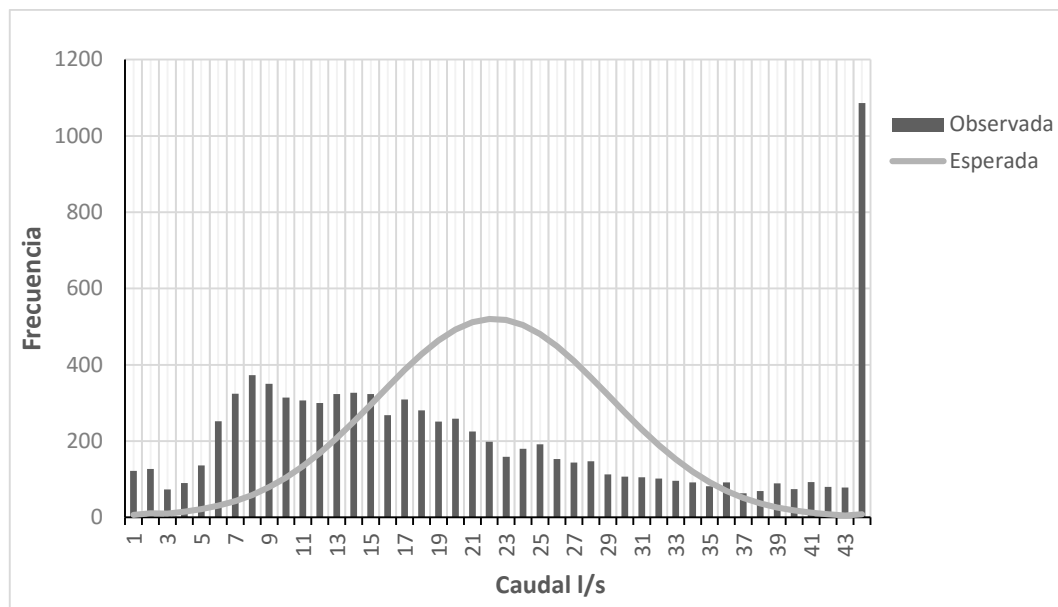


Figura 29. Prueba Chi-cuadrado – Ejemplo mes de julio

Las gráficas muestran que existen grandes distancias entre los datos observados y los datos esperados para una distribución teórica de Clément. Además, se puede ver que al forzar las agrupaciones de clases, de tal manera que el valor de las frecuencias esperadas fuese al menos de 5, se tienen una categoría donde se agrupan numerosos datos observados, que agrupa las frecuencias poco frecuentes de los valores más elevados.

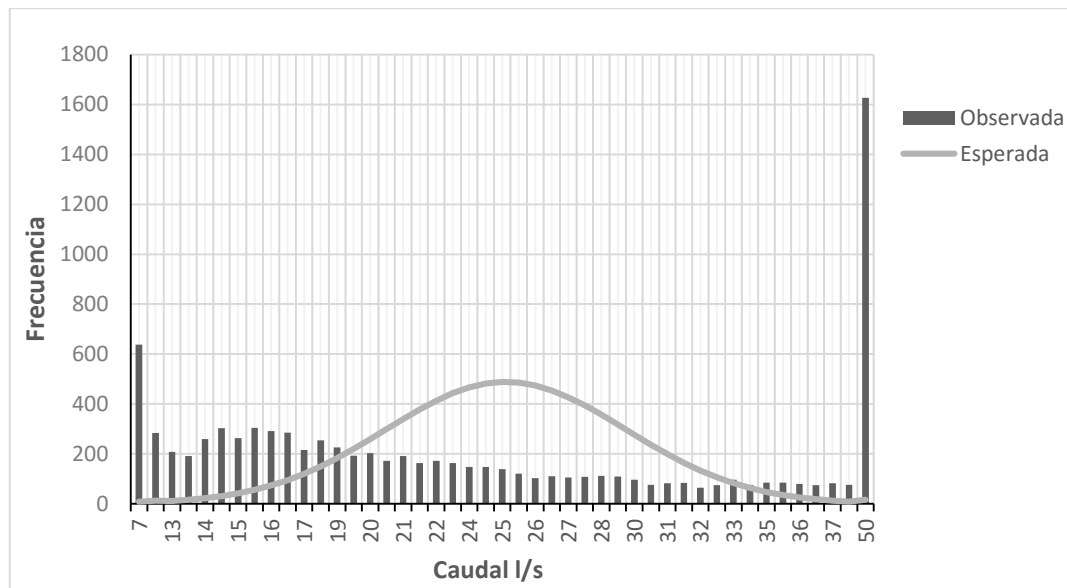


Figura 30. Prueba Chi-cuadrado – Ejemplo mes de mayo

La Figura 30, donde se observa la aplicación de la prueba para los datos del mes de máximos caudales, también presenta el mal ajuste existente entre los valores observados y los esperados.

Los cálculos completos para todos los meses de la prueba Chi-cuadrado, así como las gráficas de comparación de los datos Observado y Esperados según esta misma prueba, se adjuntan en el Anexo 5.

Como se argumentó en la metodología, se decidió aplicar el test G (Razón de verosimilitud), con el fin de verificar los resultados obtenidos con la prueba Chi-cuadrado. Los datos de dicho test, resumidos en la Tabla 9, confirman el pobre ajuste encontrado a la distribución de Clément, lo que ha llevado a rechazar la hipótesis del modelo, dado que los valores del estadístico G ajustado, calculado para los meses de estudio, es muy superior al valor crítico de contraste χ^2 .

Id Mes	Mes	G	G AJUSTADO	χ^2 Crítico	H0
1	ENERO	38749.60	36208.64	53.38	NO SE ACEPTA
2	FEBRERO	27165.16	25826.03	38.89	NO SE ACEPTA
3	MARZO	30397.84	28592.03	48.60	NO SE ACEPTA
4	ABRIL	23036.62	21604.09	49.80	NO SE ACEPTA
5	MAYO	27421.16	25373.48	60.48	NO SE ACEPTA
6	JUNIO	24356.99	22880.81	48.60	NO SE ACEPTA
7	JULIO	16775.42	15547.95	59.30	NO SE ACEPTA
8	AGOSTO	23292.34	21623.18	58.12	NO SE ACEPTA
9	SEPTIEMBRE	24284.49	22584.58	55.75	NO SE ACEPTA
10	OCTUBRE	25163.85	23591.10	50.99	NO SE ACEPTA
11	NOVIEMBRE	24502.55	23492.13	33.92	NO SE ACEPTA
12	DICIEMBRE	27732.97	25787.59	56.94	NO SE ACEPTA

Tabla 9. Resultados Test G

De igual manera, la sinopsis de cálculos para este test aparece en las tablas del Anexo 5.

5.2.10.4 Test de Kolmogorov-Smirnov

Para esta prueba de normalidad, se ha analizado la relación entre las frecuencias relativas de los caudales observados en el tramo analizado y la distribución normal teórica esperada de los caudales en dicha línea. Como se pudo ver en la Figura 24 y Figura 25, las distancias entre los datos de una y otra distribución, son significativas.

Esta falta de ajuste se corrobora con los datos calculados del estadístico K-S, que para todos los meses, es mayor que el estadístico tabulado, llevando a rechazar en todos los casos la hipótesis nula, para un nivel de significancia de 0.05. El compendio de los resultados se puede observar en la Tabla 10.

Id Mes	Mes	Estadístico K-S	GdL	Estadístico Crítico	Ho
1	Enero	0.350	8928	0.014	SE RECHAZA
2	Febrero	0.367	8064	0.015	SE RECHAZA
3	Marzo	0.336	8928	0.014	SE RECHAZA
4	Abril	0.290	8640	0.015	SE RECHAZA
5	Mayo	0.325	8928	0.014	SE RECHAZA
6	Junio	0.284	8640	0.015	SE RECHAZA
7	Julio	0.257	8928	0.014	SE RECHAZA
8	Agosto	0.300	8928	0.014	SE RECHAZA
9	Septiembre	0.334	8640	0.015	SE RECHAZA
10	Octubre	0.333	8928	0.014	SE RECHAZA
11	Noviembre	0.333	8640	0.015	SE RECHAZA
12	Diciembre	0.351	8928	0.014	SE RECHAZA

Tabla 10. Resultados mensuales test K-S

Aunque las distancias observadas son bastante grandes, el mes que muestra el menor valor de K-S calculado es julio (0.257).

Otra forma de observar de manera gráfica estas distancias se muestra en la Figura 31 y Figura 32, donde se aprecia el trazado de las frecuencias acumuladas (*fda Observados*), de los caudales observados y las frecuencias acumuladas de la distribución teórica (*fda Teóricos*) para el mes de mayo y mes de julio.

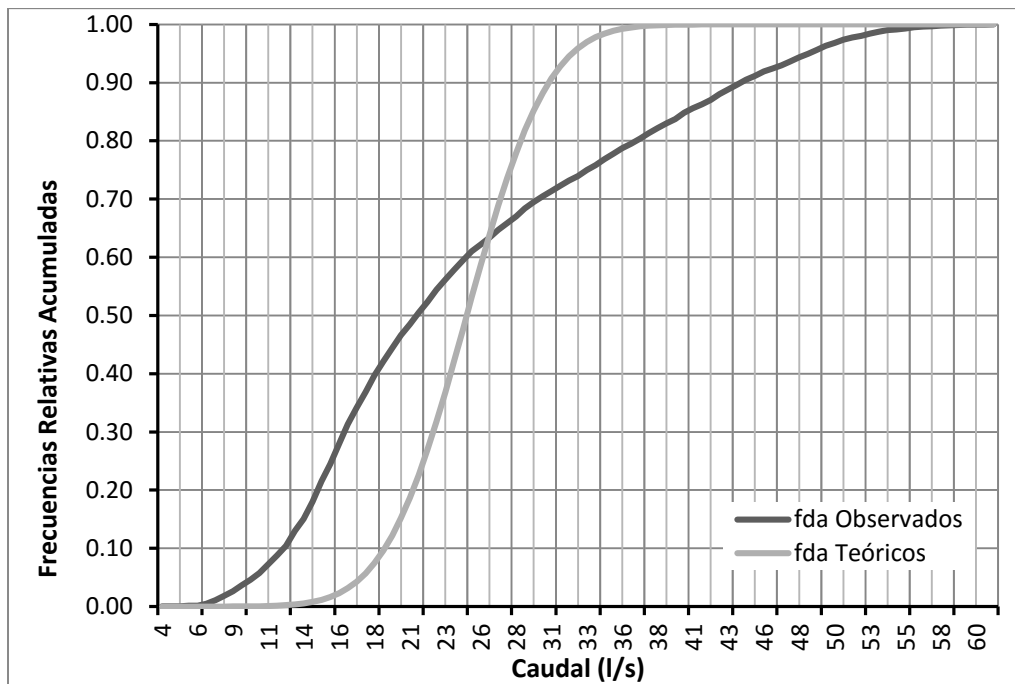


Figura 31. Test K-S. Ejemplo del mes de mayo 2015.

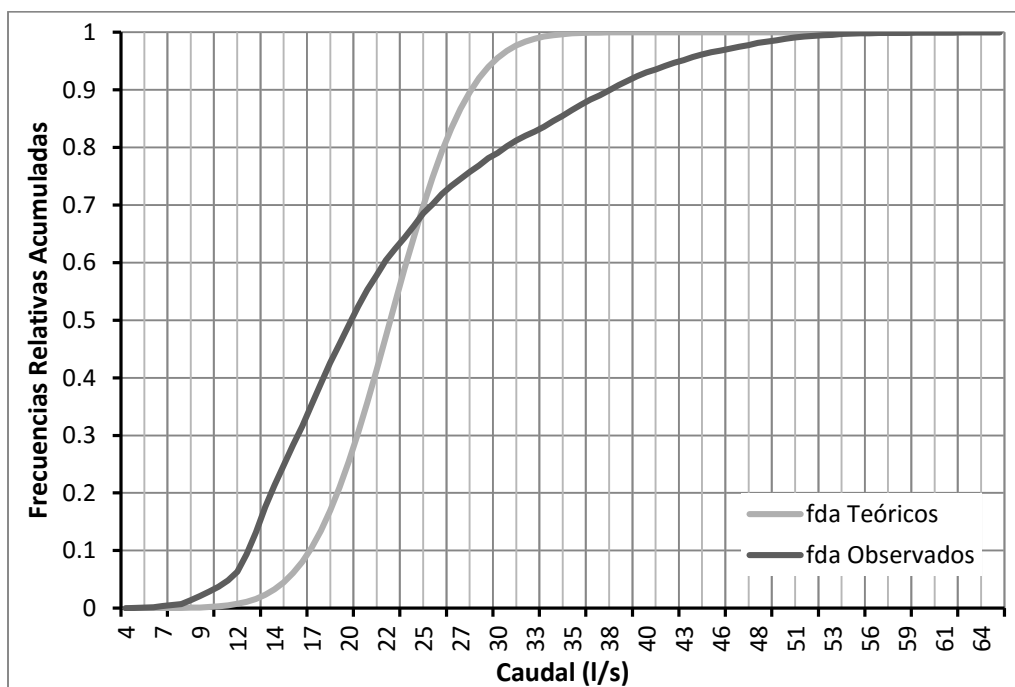


Figura 32. Test K-S. Ejemplo del mes de julio 2015.

Con estas gráficas también es posible observar que los valores teóricos de Clément infravaloran los caudales reales de menor valor, por debajo de la media teórica, mientras que los caudales por encima de la media teórica, los de mayor valor, son sobreestimados por la distribución modelo.

Como se ha mencionado, los resultados obtenidos con este test concuerdan con el análisis estadístico previamente realizado, se puede afirmar que para el caso de estudio existe evidencia suficiente en todos los meses para rechazar la H_0 , resultando para todos los casos

valores de los estadísticos calculados muy superiores a los estadísticos tabulados, lo cual indica que los datos estudiados no tienen un ajuste aceptable a la distribución normal de Clément. Por tanto, aplicando esta prueba se puede afirmar una vez más, que los caudales no se ajustan a la distribución del modelo analizado.

Las tablas de cálculo y gráficas de frecuencia acumulada para el test *K-S* para todos los meses se encuentran adjuntos en el Anexo 6.

5.2.11 Análisis de resultados del ajuste de los datos observados a la distribución teórica.

Según los resultados obtenidos hasta el momento, en la aplicación de la metodología propuesta para la comparación de los datos observados del caso de estudio y la hipótesis de normalidad planteada por Clément, no existe evidencia suficiente para afirmar que dicho supuesto se verifica.

5.2.12 Transformación de datos

Dado el rechazo a la H_0 para todos los casos, a la luz de las pruebas realizadas y la apreciación de un gran número de valores atípicos, se procedió a transformar la variable de caudal empírica con el fin de visualizar posibles mejoras en cuanto al ajuste de normalidad pretendido.

En la Figura 33 se observa los datos originales y el efecto que tiene la transformación aplicada para el mes de abril con las respectivas distribuciones teóricas calculadas para ambos casos.

Se observa como los datos transformados presentan una mejora en cuanto a la agrupación en torno al valor central, pero sigue habiendo un pobre ajuste entre los valores transformados y la distribución teórica calculada para estos.

Por otro lado, sigue observándose una sobreestimación de los valores medios y una subestimación de los caudales para un 95% de la probabilidad acumulada.

El compendio de los diagramas de comparación realizados para ambas situaciones, datos sin transformar y transformados, se encuentran recogidos en el Anexo 7.

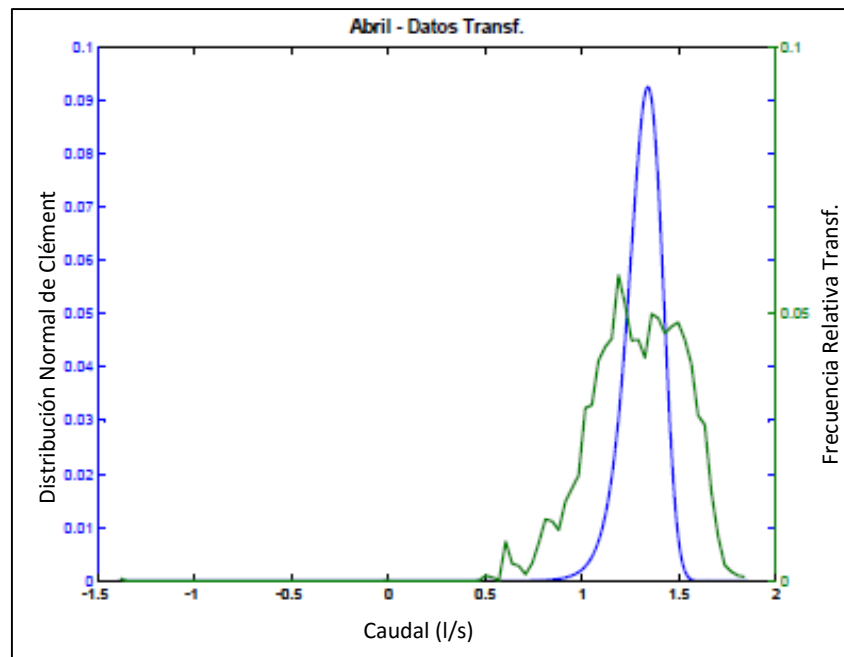


Figura 33. Transformación de Datos – Ejemplo mes de abril

5.2.13 Análisis de resultados del ajuste de los datos observados transformados a la distribución teórica.

Los resultados obtenidos no aportan evidencias suficientes para verificar el ajuste entre los datos observados transformados a la distribución teórica de Clément. Lo cual lleva a pensar que los datos de caudal para este caso de estudio se podrían ajustar a otras distribuciones continuas diferentes a la normal. Para ello se aplica la etapa siguiente de la metodología resultados que se describen a continuación.

5.2.14 Prueba de ajuste de los datos observados a otras distribuciones teóricas (Fit Distribution)

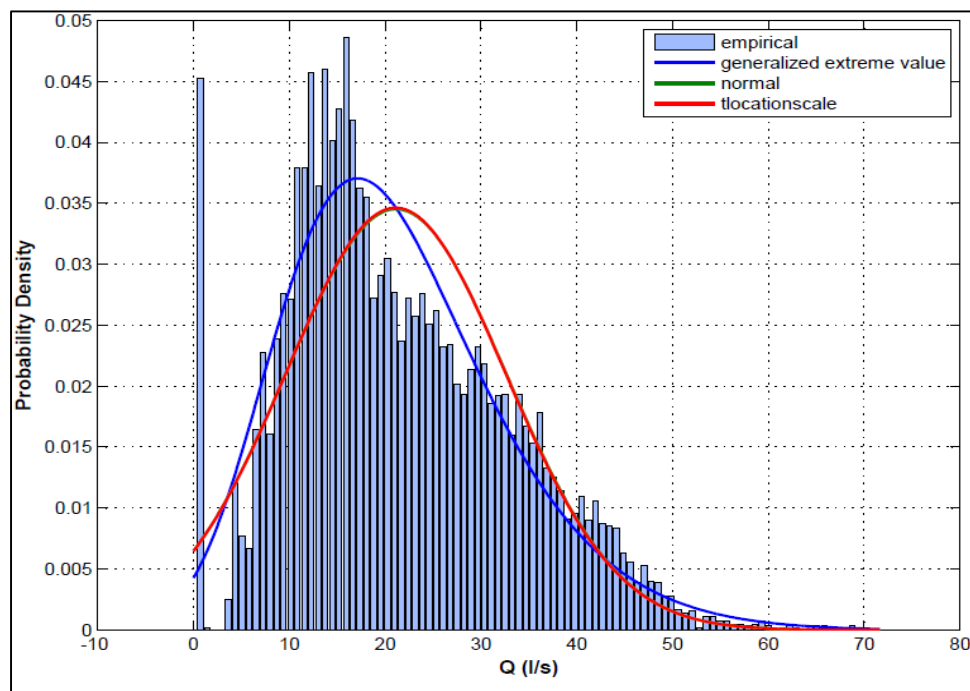
Después de probar con otras distribuciones continuas, conocidas tal y como se ha descrito en la metodología, se observa que las distribuciones dominantes para los datos del caso de estudio son en orden de mejor ajuste:

- 1) Las distribuciones de valores extremos, *GEV* y *GPD*, la cuales muestran el mejor ajuste en 8 de los 12 meses de estudio (enero, febrero, marzo, abril, junio, octubre, noviembre y diciembre.)
- 2) En segundo lugar, la distribución Inversa Gaussiana (mayo, junio y septiembre).
- 3) Por último, solo en un mes la distribución Log-Normal (agosto).

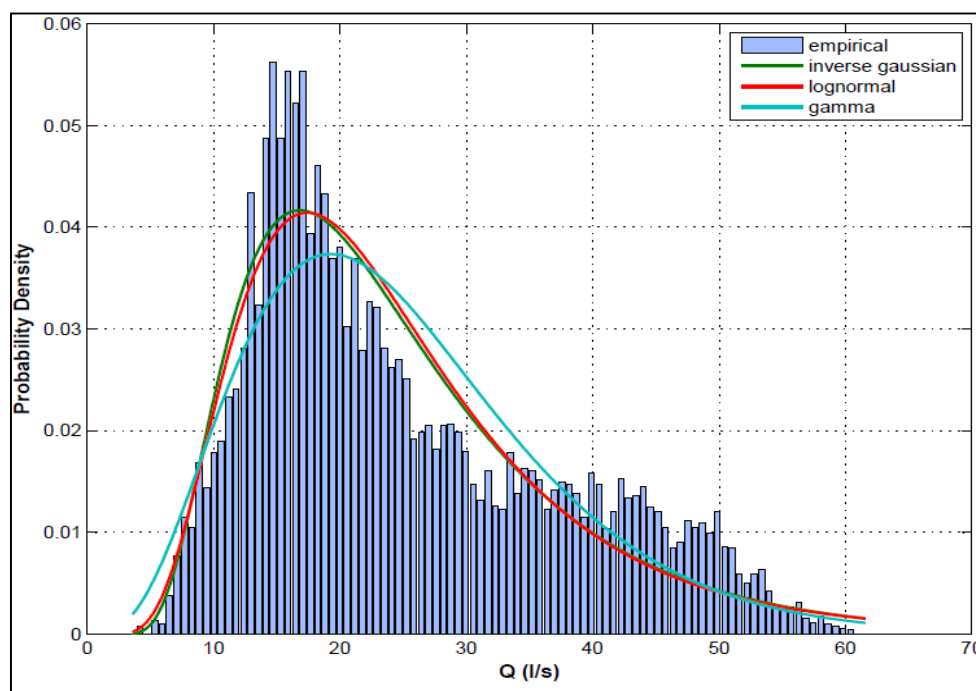
Vale la pena resaltar, que a través de esta herramienta, se presentó la distribución Normal como opción de ajuste para los meses de abril (opción 2), junio y julio (opción 3 para ambos meses). Es interesante que para estos meses algunas de las pruebas de ajuste mostraban indicios que las muestras mensuales respectivas podrían acercarse a dicha distribución. Por ejemplo, para el caso del mes de abril, se tuvo que presentaba los valores de Curtosis y Asimetría más bajos, y los valores de los estadísticos $\chi^2_{\text{calculado}}$ y G_{ajustado} del test Chi-cuadrado y razón de verosimilitud, respectivamente, fueron también los de menor valor. Así también,

abril fue el mes con el segundo valor más pequeño del estadístico calculado, en el test K-S, siendo el mes con el mínimo valor para este test, junio.

De cualquier modo, tanto para este mes, como para los demás de estudio, se encontraron mejores ajustes que la distribución Normal. Las gráficas de ejemplo, mostradas en la Figura 34 muestran los resultados del ajuste para el mes de abril (a) y para el mes punta, mayo (b).



a) Abril



b) Mayo

Figura 34. Ajuste probabilístico de Datos Observados: a) Abril b) Mayo

El resumen de los ajustes para los meses de estudio se encuentra resumido en la Tabla 11.

Mes	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Enero	Generalized Pareto	Gen. Extreme Value	Exponential
Febrero	Gen. Extreme Value	Generalized Pareto	Exponential
Marzo	Gen. Extreme Value	Generalized Pareto	Exponential
Abril	Gen. Extreme Value	Normal	t location Scale
Mayo	Inverse Gaussian	Log-Normal	Gamma
Junio	Gen. Extreme Value	t location Scale	Normal
Julio	Inverse Gaussian	Gen. Extreme Value	Normal
Agosto	Log-Normal	Inverse Gaussian	Gamma
Septiembre	Inverse Gaussian	Log-Normal	Gen. Extreme Value
Octubre	Gen. Pareto	Exponential	Gen. Extreme Value
Noviembre	Generalized Pareto	Exponential	Gen. Extreme Value
Diciembre	Generalized Pareto	Gen. Extreme Value	Exponential

Tabla 11. Resumen ajuste de los datos observados

El valor de los criterios de información AIC y BIC que validan esta selección se muestran en la Tabla 12. De los datos resaltados en dicha tabla, se observa que para ambos criterios, el menor valor de cada mes corresponde a la *opción 1*, opción que fue seleccionada como la de mejor ajuste frente a las demás.

Mes	BIC			AIC		
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Enero	654870000	661130000	665570000	654650000	660920000	665500000
Febrero	573630000	586980000	589750000	573410000	586770000	589680000
Marzo	648800000	654820000	663670000	648580000	654610000	663600000
Abril	683910000	690520000	690600000	683690000	690370000	690390000
Mayo	678740000	679520000	680810000	678600000	679380000	680670000
Junio	694610000	703880000	703880000	694390000	703670000	703740000
Julio	638230000	638610000	638700000	638090000	638400000	638550000
Agosto	675520000	675750000	675940000	675380000	675610000	675790000
Septiembre	631610000	632590000	635300000	631470000	632450000	635080000
Octubre	606660000	606670000	623830000	606450000	606600000	623620000
Noviembre	537160000	538240000	623830000	536950000	538170000	623620000
Diciembre	631410000	633090000	637320000	631190000	632880000	637250000

Tabla 12. Criterios de información para la selección del modelo de ajuste

El compendio de los resultados del ajuste de los datos observados a otras distribuciones continuas conocidas, se encuentran adjuntos en el Anexo 8.

6 DISCUSIÓN

Dado el complejo cálculo de los caudales en las redes de riego, debido a las particularidades del ámbito agrícola, en el que se ha de tener en cuenta la alta variabilidad de los parámetros externos al sistema, como de los internos propios del cultivo implantado, en los que se incluye la aleatoriedad del comportamiento de los usuarios, se hace difícil la implementación de los modelos clásicos del diseño de redes de abastecimiento a presión.

En el desarrollo de este proyecto se ha descrito uno de las metodologías de amplio uso en el diseño de redes de riego a la demanda, la primera fórmula generalizada de Clément, con el fin de verificar la hipótesis principal implementada para su desarrollo: que los caudales inyectados en la red siguen una distribución normal, cuyos parámetros son función de las probabilidades de apertura de las tomas y las dotaciones asignadas a cada una de ellas.

Este objetivo ha llevado a implementar diversas pruebas de normalidad, en primera instancia de evaluación gráfica a través de los histogramas y gráficos de probabilidad, y posteriormente a través de los test de bondad de ajuste, pruebas no paramétricas (Chi-cuadrado, Test de verosimilitud, Test de Kolmogorov-Smirnov).

Como se mencionó en el apartado 5.2.10.4, los valores teóricos subestiman los caudales reales por debajo de la media teórica y los sobreestima por encima de esta. Así mismo se observó que para una probabilidad acumulada del 95%, valor de la Garantía de Suministro o calidad de funcionamiento del sistema propuesto en el análisis, los caudales de la distribución teórica de Clément se encuentra por debajo de los caudales reales para todos los meses del período de estudio.

Como punto de partida de los resultados estadísticos obtenidos, los esquemas de los histogramas para cada mes (Figura 23, Figura 24, Figura 25 y Anexo 4) muestran que, según la forma y simetría de las gráficas de cada mes, las distribuciones de datos observados se alejan de la distribución normal, observándose que estos se acumulan hacia la izquierda, donde los valores de caudal resultan ser bajos, mostrando colas derechas de menores frecuencias para los valores más altos de caudal.

Así mismo, dado el análisis del registro horario de las solicitudes a la red se infiere una mayor concentración en las primeras horas de la mañana, Figura 21, lo que puede deberse a costumbres locales de los agricultores que prefieren aprovechar estas horas para realizar el regadío. Aunque se infiere una menor disposición a regar por la tarde (Figura 21), también existe una concentración notoria de tomas en funcionamiento durante dichas horas. Se aprecia que el riego nocturno no es una alternativa de riego, muy común entre los usuarios de esta red, como cabe de esperar en cualquier red de riego que funciona por gravedad, a diferencia de los sistemas inyectados que priorizan los horarios nocturnos como consecuencia del coste de la tarifa eléctrica. Por tanto, si los usuarios pueden elegir, los agricultores tienden a evitar el regadío en horas nocturnas prefiriendo las horas del día con luz solar.

Por otro lado, las gráficas de probabilidad ponen de manifiesto que los datos se alejan de la distribución probabilística normal de Clément, dado que adoptan un patrón curvilíneo ascendente Figura 26 y Figura 27, siendo la razón de esta forma la asimetría a derecha que presentan los datos, como se puede ver en las figuras Figura 24 y Figura 25.

Lo que se observó con estas primeras pruebas gráficas, se comprobó al aplicar las pruebas no paramétricas de bondad de ajuste respecto al modelo de distribución Normal de Clément.

El Test Chi-cuadrado mostró un pobre acuerdo de las observaciones respecto a los valores esperados según el modelo teórico propuesto, no resultando satisfactorio el ajuste, dada la alta discrepancia entre ambos grupos de datos para todos los meses, según se recoge en la Tabla 8 y se observa a modo de ejemplo en la Figura 29 y Figura 30 (en el Anexo 5 pueden observarse los resultados de esta prueba para el resto de meses del año de estudio). Puesto que los valores del estadístico calculado son mucho mayores que el estadístico crítico y por tanto, se infiere que la distancia existente entre las observaciones y los valores teóricos esperados es considerable, se ha rechazado la hipótesis nula de normalidad de Clément por medio de este test, el cual se validó por medio del test G cuyos resultados coincidieron con los del Chi cuadrado para todos los meses

Teniendo en cuenta la pérdida de información en la que se pudiese caer en la realización del Test Chi-cuadrado, debido a la agrupación de los datos, especialmente en los datos de mayor caudal (dado que estos se presentan de manera más infrecuente se han tenido que agrupar en una sola clase), se procedió a profundizar en la evidencia de la disconformidad ente las distribuciones teóricas de Clément y las observaciones reales, por medio de la aplicación del test de $K-S$. Los resultados sintetizados en la Tabla 10 y adjuntados en el Anexo 6, muestran valores del estadístico calculado para los datos observados muy alejados del estadístico crítico tabulado.

A fin de no pasar por alto la posibilidad de que la presencia de los valores extremos estuviese distorsionando los resultados del análisis de la muestra, se aplicó la metodología de transformación de datos logarítmica dada las asimetrías a derecha encontradas, con el fin de centrar los datos y luego compararlos con el modelo teórico propuesto. Sin embargo, una vez más nos encontramos ante ajustes alejados de la distribución normal teórica de Clément, según se recoge en la Figura 33 y el Anexo 7.

A continuación, aceptando como cierta la hipótesis alterna, que postula que hay evidencias de que los datos no se ajustan a la distribución normal, se ha pretendido realizar una propuesta de otros modelos probabilísticos que pueden ser mejores ajustes que el propuesto por la H_0 .

Tras la comparación realizada con el software *MATLAB*, se han encontrado otros posibles modelos con mejor ajuste (Tabla 11 y Anexo 8). Los criterios de información usados, AIC y BIC confirman la fuerza que tienen los modelos seleccionados, según se recoge en la Tabla 12.

Gráficamente se puede apreciar que las distribuciones *GEV* y *GPD*, presentan mejores ajustes para la mayoría de los datos observados, mes a mes como se muestra en la Figura 34. Esta apreciación puede llevar a pensar que los valores extremos, menos frecuentes, cobran una gran importancia en la definición del modelo de distribución probabilístico que puede explicar los datos observados para los caudales en la red.

7 CONCLUSIONES

En el presente documento de Trabajo Final de Master se ha propuesto una metodología para realizar un análisis comparativo de la distribución de caudales obtenidos con la PFG de Clément y las mediciones reales de caudal en redes de riego. En este sentido, el análisis comparativo en este proyecto ha ido más allá, al proponer a su vez, otras alternativas a la hipótesis de normalidad en la distribución de caudales planteada por la fórmula de Clément. De esta forma, se presenta una propuesta metodológica para la comprobación del ajuste de las distribuciones de caudales basado en pruebas estadísticas y una aproximación al ajuste a otras distribuciones diferentes a la teórica.

A modo de aplicación de la validez de la metodología propuesta, se ha realizado el análisis de la distribución de caudales para la red de riego a la demanda perteneciente a la Comunidad de Regantes Torreta-Segarra, con unos resultados que arrojan interesantes conclusiones cuando la metodología se aplica a este caso concreto. En primer lugar, todos los análisis y resultados obtenidos en esta red y para este trabajo, tienen como base la serie histórica de caudales de un único año, concretamente el 2015. Esto es debido a que el caudalímetro y contadores fueron instalados a finales de 2014, y solamente se tiene actualmente una serie anual completa, correspondiente a dicho año. Por lo tanto, aunque el año 2015 fue un año que recoge fielmente la necesidad del riego, como consecuencia de la sequía que sufrieron las plantaciones este año, deberán analizarse posteriores series históricas sucesivas a este año, para corroborar los resultados obtenidos con los datos registrados durante el año 2015.

Con la metodología propuesta su aplicación a un caso real, se da cumplimiento a los objetivos de proponer estrategias para hacer comparaciones estadísticas, determinar las curvas de frecuencias con mejores ajustes y propuestas de diferentes pruebas estadísticas para parametrizar dicha bondad de ajuste. A continuación, se enumeran las conclusiones obtenidas en este trabajo, diferenciándolas en función del cumplimiento de los objetivos planteados en el mismo:

- 1) De los datos de caudales analizados en este proyecto para el año tratado, cabe resaltar que, para el caso de estudio, los caudales no se distribuyen en la red bajo el modelo Normal (de media y desviación estándar calculadas bajo el modelo de Clément) en ninguno de los meses del año (Objetivos específicos 1 y 3, planteados en el TFM, cumplidos al 100%).
- 2) Según el análisis planteado, existe evidencia suficiente, para afirmar que la distribución Normal no explica de manera satisfactoria el comportamiento de la variable aleatoria de distribución de caudales en el sistema. Este comportamiento ha sido comprobado a través tres pruebas de bondad de ajuste diferentes (χ^2 , *Test G* y *Test de K-S*), dando en todos ellos resultados que ratifican este hecho (Objetivo específico 4 planteado en el TFM cumplido al 100%).

- 3) Disponer de los caudales registrados durante todo el año, ha permitido obtener los histogramas de frecuencia de datos observados en la red para cada mes, para su posterior comparación con la distribución normal de Clément y ajuste a otras funciones (Objetivo específico 2 planteado en el TFM cubierto al 100% de forma relativa, puesto que para poder afirmar dicho objetivo de forma absoluta, es necesario ampliar el estudio a un número superior de series históricas, de las que actualmente no se dispone).
- 4) Admitida la no normalidad de los datos observados, en este trabajo, se han propuesto otras distribuciones que se ajustan mejor a las distribuciones de caudal mensual observadas. Este ajuste, realizado con la función 'ALLFITDIST', del software *MATLAB*, ha dado como resultado que para los meses de enero, octubre, noviembre y diciembre; la distribución Generalized Pareto Distribution es la que mejor ajuste presenta. En los meses de febrero, marzo, abril y junio; es la distribución Generalized Extreme Value la que presenta un mejor ajuste. En los meses de mayo y julio, la función Inverse Gaussian es la que cumple con un ajuste mejor. Finalmente, el mes de agosto presenta un mayor ajuste para la distribución Log-normal. No obstante, en once de los doce meses (excepto mayo), entre las opciones de ajuste que se obtienen con la función 'ALLFITDIST', se encuentra la distribución Generalized Extreme Value (Objetivo específico 5 del TFM cubierto al 100%).

Finalmente, y según lo expuesto anteriormente, la distribución General Extreme Value se perfila como uno de los mejores modelos a la hora de representar el comportamiento de los datos de caudales registrados, debido fundamentalmente a la presencia de valores altos que presentan una frecuencia muy baja.

En cuanto a desarrollos futuros, la investigación queda abierta en dos líneas fundamentalmente: La primera, pretendería reproducir el análisis con series históricas más extensas con un mayor número de datos de caudales y volúmenes registrados en esta red, a medida que se disponga de registros de datos más extensos, para corroborar los resultados obtenidos para el año 2015. Como segunda línea, sería interesante extrapolar este análisis a otras redes de riego que dispongan de registro de datos de caudal en cabecera y volúmenes de consumo registrados en los usuarios, para poder tener una mayor información del comportamiento de las distribuciones de caudal real frente a las distribuciones teóricas, en diferentes zonas geográficas, con condiciones climatológicas y cultivos diferentes.

El análisis de estas series, permitiría el desarrollo de estudios que lleven a determinar los parámetros ligados a los datos agronómicos, de forma similar a los planteados en la Primera Fórmula Generalizada de Clément (probabilidad de apertura y caudal demandado por la toma), que definiesen la función de distribución que mejor ajuste proporcione.

BIBLIOGRAFIA

- Akaike, H. (1973). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. Second International Symposium on Information Theory, 267 – 281.
- Alduán, A., & Montserrat, J. (2009). Estudio comparativo entre la organización a la demanda o por turnos en redes de riego a presión. *Ingeniería Del Agua*, 16(3).
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., Smith, M., & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1998). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. (FAO UN, Ed.). FAO.
- Botero H., B. (2006). Estimación de crecidas de alto período de retorno mediante funciones de distribución con límite superior e información no sistemática. Universidad Politécnica de Valencia.
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2003). Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach. Springer Science & Business Media.
- Caballero D., F. F. (2011). Selección de modelos mediante criterios de información en análisis factorial. Aspectos teóricos y computacionales. Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- Calvo, I. P., Montesinos, P., Roldán, J., & Navarro, F. J. . R. (2005). Estimación de la demanda de agua para riego: regresiones lineales versus aproximaciones neuronales. *Avances en Recursos Hidráulicos*, (12), 7–19.
- Castillo G., S., & Lozano A., E. D. (2007). Q-Q Plot Normal. Los puntos de posición gráfica. *Iniciación a la Investigación*, (2).
- Chambers, J. M. (1983). Graphical methods for data analysis. Wadsworth International Group
- Clément, R. (1955). Le calcul des débits dans les canalisations d'irrigation. In *Journées d'études sur l'irrigation*. Association Amicale des Ingenieurs du Genie Rural.
- Clément, R. (1966). Calcul des débits dans les réseaux d'irrigation fonctionnant à la demande. *La Houille Blanche*.
- Clement, R., & Galand, A. (1986). El riego por aspersión y las redes colectivas de distribución a presión. *Técnicos Asociados SA*.
- Clémet, R., & Galand, A. (1990). Systèmes d'irrigation. Programmes d'irrigation. *Techniques de l'Ingenieur*.
- Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, C. C. y D. R.-G. V. (2016). IVIA - Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Generalitat Valenciana.
- Cowles, M., & Davis, C. (1982). On the Origins of the .05 Level of Statistical Significance. *American Psychologist*, 37.
- Daniel, W. W. (1990). Applied nonparametric statistics. PWS-Kent Publ.
- Dastane, N. G., & Nations, F. and A. O. of the U. (1974). Effective rainfall in irrigated agriculture.

- de Boissezon, J., & Haït, J.-R. (1965). Calcul des débits dans les réseaux d'irrigation. *La Houille Blanche*, (2), 159–164.
- Erickson, B. H., & Nosanchuk, T. A. (1977). *Understanding data*. McGraw-Hill Ryerson.
- Feng, C., Wang, H., Lu, N., & Tu, X. M. (2013). Log transformation: application and interpretation in biomedical research. *Statistics in Medicine*, 32(2), 230–9.
- Fisher, R. A. (1922). On the Mathematical Foundations of Theoretical Statistics. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 222(594-604), 309–368.
- Fisher, R. A. (1925). *Statistical Methods For Research Workers*. Cosmo Publications.
- Gariglio, N., Castillo, Á., Juan, M., Almela, V., & Agustí, M. (2002). El Níspero Japonés. Técnicas para mejorar la calidad del fruto. (Instituto Agroforestal Mediterráneo, Universidad Politécnica de Valencia, & Generalitat Valenciana, Eds.). Valencia.
- González, C. G. (2006). *Tratamiento de datos*. Universidad de Vigo. Ediciones Díaz de Santos.
- Granados García, A. (2013, June 29). Criterios para el dimensionamiento de redes de riego robustas frente a cambios en la alternativa de cultivos. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM).
- Granados, G., A. (1986). *Redes colectivas del riego a presión (1a. ed.)*. Madrid: Escuela de Ingenieros de Caminos y Puertos.
- Hollander, M., & Wolfe, D. A. (1973). *Nonparametric statistical methods*.
- Iglesias R., P. L., Martínez S., F. J., Fuertes M., V. S., & Pérez G., R. (2004). Algoritmo genético modificado para diseño de redes de abastecimiento de agua. João Pessoa (Brasil).
- Jl, P. (2011). *Reservoir Re-operation, Risk, and Levee Failure Analysis: Mokelumne River Case*. University of California Davis.
- Kolmogorov, A. N. (1932). Sulla Determinazione Empirica di una Legge Distribuzione, 4.
- Labye, Y., Olson, M. A., Galand, A., T. N. (1996). *Conception et optimisation des reseaux d'irrigation*. Food & Agriculture Org.
- Labye, Y. (1988). *Design and Optimization of Irrigation Distribution Networks*, Números 44-45.
- Lamaddalena, N., Sagardoy, J. A., & Nations, F. and A. O. of the U. (2000). *Performance Analysis of On-demand Pressurized Irrigation Systems*.
- Losada, A. (1997, December 1). *Glosario sobre sistemas de riego*. Fundación para el Fomento de la Ingeniería del Agua.
- Martín P., F. J., & Ruiz-Maya P., L. (2008). *Fundamentos de inferencia estadística (Vol. 0)*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Martínez-Cob, A. (2004). Necesidades hídricas en cultivos hortícolas. *Revista Horticultura*, 17.

- Massey Jr., F. J. (1951). The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association*, 46, pp. 68– 78.
- MATHWORKS. (2013). MATLAB® Creating Graphical User Interfaces. The MathWorks, Inc.
- Meyn, S. P., & Tweedie, R. L. (1993). *Markov Chains and Stochastic Stability*. London: Springer London.
- Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. (1992). Expediente de Solicitud de Registro. Denominación de origen "Níspero Callosa d'En Sarrià".
- Montenegro, S., & Alonso, J. C. (2015, September 7). Estudio de Monte Carlo para comparar 8 pruebas de normalidad sobre residuos de mínimos cuadrados ordinarios en presencia de procesos autorregresivos de primer orden. *Estudios Gerenciales*.
- Moreno M. A., Planells P., Ortega J. F., & Tarjuelo J. M. (2005). Problems in the On-demand Irrigation Networks Design. ICID 21st European Regional Conference. Frankfurt: ICID.
- Moreno, M. A., Planells, P., Ortega, J. F., & Tarjuelo, J. (2007). New Methodology to Evaluate Flow Rates in On-Demand Irrigation Networks. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(4), 298–306.
- Muñoz, F. (2014). Distribuciones Poisson y Gamma: Una Discreta y Continua Relación. *Prospectiva*, 12(1), 99.
- Murillo Gómez, J. G. (2009). Extreme value theory and operational risk: an application to a financial institution. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 59–70.
- Nason, G. P. (2005). Some uses of Student's t characteristic function and the sum of t and Gaussian random variables. University of Bristol.
- Navidi, W. (2006). *Estadística para ingenieros y científicos*. México. McGrawHill.
- Pérez G., R. (1993). Dimensionado óptimo de redes de distribución de agua ramificadas considerando los elementos de regulación. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Pishro-Nik, H. (2014). *Introduction to probability, statistics, and random processes /*. (University of Massachusetts, Ed.). Amherst: Kappa Research,.
- Planells Alandí, P., Ortega Álvarez, J. F., & Tarjuelo Martín-Benito, J. M. (2007). Optimization of irrigation water distribution networks, layout included. *Agricultural Water Management: An International Journal*. Elsevier Science.
- Planells, P., Ortega, J. F., Valiente, M., Montero, J., & Tarjuelo Martín-Benito, J. M. (1999). Criterios para el diseño de redes colectivas de riego. *Ingeniería del agua*, 6(1).
- Pulido-Calvo, I., & Gutiérrez-Estrada, J. C. (2009). Improved irrigation water demand forecasting using a soft-computing hybrid model. *Biosystems Engineering*.
- Pulido-Calvo, I., Roldán, J., López-Luque, R., & Gutiérrez-Estrada, J. C. (2003). Water Delivery System Planning Considering Irrigation Simultaneity. *Journal of Irrigation and Drainage*

- Engineering, 129, 247–255.
- Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests, 2(1).
- Ryan, T. A., Joiner, B. L., & Ryan, B. (1976). Normal Probability Plots and Tests for Normality.
- Schwarz, G. (1978). Estimating the Dimension of a Model. *The Annals of Statistics*, 6(2), 461–464.
- Serra Mochales, I. (2013). *Modelos estadísticos para valores extremos y aplicaciones*. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Sheppard, M. (2012). ALLFITDIST Project. MATHWORKS.
- Smirnov, N. (1939). On the Estimation of the Discrepancy Between Empirical Curves of Distribution for Two Independent Samples. *Bul. Math. de l'Univ. de Moscou*, 2, 3 – 14.
- Smith, M. (1992). CROPWAT: programa de ordenador para planificar y manejar el riego (Manual y directivas). Estudio FAO: Riego Y Drenaje (FAO) Spa No. 46.
- Soler, J., Latorre, J., & Gamazo, P. (2016). Alternative Method to the Clément's First Demand Formula for Estimating the Design Flow Rate in On-Demand Pressurized Irrigation Systems.
- Stephens, M. A. (1992). An Appreciation of Kolmogorov's 1933 Paper. Technical Report N° 453. Stanford University and Office of Naval Research. California. USA.
- Sterne, J. A., & Davey Smith, G. (2001). Sifting the evidence-what's wrong with significance tests? *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 322(7280), 226–31.
- UNESCO; World Water Assessment Programme (WWAP). (2003). 1er Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo: Agua para todos, agua para la vida. París, Nueva York y Oxford: UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) y Berghahn Books.
- Wang, Y., & Liu, Q. (2006). Comparison of Akaike information criterion (AIC) and Bayesian information criterion (BIC) in selection of stock–recruitment relationships. *Fisheries Research*, 77(2), 220–225.
- Wilk, M. B., & Gnanadesikan, R. (1968). Probability plotting methods for the analysis of data. *Biometrika*, 55(1), 1–17.
- WILLIAMS, D. A. (1976). Improved likelihood ratio tests for complete contingency tables. *Biometrika*, 63(1), 33–37.

ANEXO 1: CARACTERÍSTICAS TOMAS DE LA RED

Anexo 1 – Características Tomas de la Red

DOTACIÓN DE RIEGO (d_i)	2.71	l/s/ha
--	------	--------

ID_TOMA	SUPERFICIE S _i (ha)	Número de sectores n _i	HIDRANTE	POLIGONO/PARCELA	Caudal Asignado q _{di} (l/s)
1	0.5131	2	H001	P6/312	0.695
2	1.2054	3	H002	P6/168	1.089
3	0.4814	2	H003	P6/183	0.652
4	2.5564	5	H003	P6/182	1.386
5	0.4272	2	H003	P6/189	0.579
6	0.6124	2	H003	P6/184	0.830
7	3.7723	5	H003	P6/190	2.045
8	0.3525	1	H004	P6/192	0.955
9	0.8728	3	H005	P6/191	0.788
10	0.3327	1	H005	P6/208	0.902
11	1.672	5	H005	P6/210	0.906
12	0.6479	2	H007	P6/223	0.878
13	0.719	2	H007	P6/224	0.974
14	1.5808	4	H008	P6/213	1.071
15	0.4497	2	H008	P6/228	0.609
16	0.4411	2	H009	P6/234	0.598
17	0.398	1	H009	P6/226/227	1.079
18	0.5254	2	H010	P6/181	0.712
19	0.5253	2	H010	P6/172	0.712
20	0.7306	2	H010	P6/165	0.990
21	0.5523	2	H010	P6/175	0.748
22	0.149	1	H010	P17/8	0.404
23	0.139	1	H010	P17/13	0.377
24	0.1076	1	H010	P17/12	0.292
25	0.206	1	H010	P17/17	0.558
26	0.0808	1	H010	P17/405	0.219
27	0.5015	2	H010	P17/14	0.680
28	0.075	1	H010	P6/162	0.203
29	4.5372	5	H010	P17/15	2.459
30	0.7897	2	H010	P17/66	1.070
31	0.1897	1	H010	P6/173	0.514
32	0.2004	1	H010	P6/174	0.543
33	0.2614	1	H011	P6/177	0.708
34	2.0421	5	H011	P17/67	1.107
35	0.615	2	H012	P17/39	0.833
36	0.1248	1	H012	P17/61	0.338
37	0.075	1	H013	P17/75	0.203
38	1.2632	4	H013	P17/324	0.856
39	0.235	1	H014	P6/185	0.637
40	0.3666	1	H014	P6/186	0.993

41	0.6755	2	H017	P6/229	0.915
42	2	5	H018	P17/88	1.084
43	0.9921	3	H019	P6/230	0.896
44	1.5808	4	H020	P17/114a	1.071
45	1.2264	3	H020	P17/92	1.108
46	0.7924	2	H020	P17/108	1.074
47	1.7904	5	H020	P17/114b	0.970
48	0.083	1	H020	P17/164	0.225
49	1.235	3	H020	P17/115	1.116
50	0.92	3	H021	P6/232	0.831
51	2.08	5	H021	P17/116	1.127
52	0.6582	2	H021	P6/233	0.892
53	1.273	4	H022	P17/118/119/117	0.862
54	0.5374	2	H023	P6/247	0.728
55	0.4936	2	H023	P6/245	0.669
56	0.416	1	H023	P6/237	1.127
57	0.3686	1	H023	P6/246	0.999
58	0.7196	2	H024	P17/120	0.975
59	0.6656	2	H024	P6/120	0.902
60	0.7009	2	H025	P6/244	0.950
61	0.9954	3	H025	P6/243	0.899
62	1.2896	4	H025	P6/242	0.874
63	1.1648	3	H026	P17/127/128	1.052
64	1.5721	4	H028	P17/126	1.065
65	0.1664	1	H028	P17/151	0.451
66	0.5408	2	H028	P17/146/179	0.733
67	0.3676	1	H028	P17/180	0.996
68	1.695	5	H028	P17/198/177	0.919
69	0.6522	2	H028	P17/217	0.884
70	0.9964	3	H028	P17/175	0.900
71	0.6253	2	H028	P17/174	0.847
72	0.5877	2	H028	P17/199	0.796
73	0.297	1	H028	P17/213	0.805
74	0.1094	1	H028	P17/235	0.296
75	0.1094	1	H028	P17/222	0.296
76	0.4588	2	H028	P17/219	0.622
77	0.7492	2	H028	P17/216	1.015
78	0.1464	1	H028	P17/220	0.397
79	0.0832	1	H028	P17/234	0.225
80	0.0832	1	H028	P17/218a	0.225
81	0.0832	1	H028	P17/218b	0.225
82	1.0749	3	H028	P17/197/372	0.971
83	0.0324	1	H028	P17/196	0.088
84	0.0832	1	H028	PSD3	0.225
85	0.5937	2	H028	P17/204	0.804
86	0.0832	1	H028	P17/206	0.225
87	0.0832	1	H028	P17/207	0.225

88	0.1992	1	H028	P17/195	0.540
89	0.2002	1	H028	P17/194/193	0.543
90	0.6032	2	H028	P17/186	0.817
91	0.6037	2	H028	P17/187	0.818
92	0.0892	1	H028	P17/189	0.242
93	1.9519	5	H028	P17/142/139	1.058
94	2.4153	5	H029	P17/178	1.309
95	1.6542	4	H029	P17/145	1.121
96	2.0765	5	H030	P6/253	1.125
97	1.9639	5	H031	P17/131	1.064
98	1.8074	5	H032	P6/262	0.980
99	0.4796	2	H033	P17/140	0.650
100	2.3711	5	H033	P17/135	1.285
101	1.8945	5	H033	P17/143	1.027
102	2.4595	5	H033	P17/136	1.333
103	0.9849	3	H034	P17/137	0.890
104	1.0053	3	H034	P17/138	0.908
105	2.0236	5	H035	P6/267 268/269	1.097
106	2.7931	5	H036	P8/8	1.514
107	0.916	3	H036	P8/2	0.827
108	0.6093	2	H036	P8/6	0.826
109	1.0016	3	H036	P8/3	0.905
110	0.0832	1	H036	P8/297	0.225
111	0.085	1	H036	P8/281	0.230
112	0.0832	1	H036	P8/284	0.225
113	0.6477	2	H036	P8/293	0.878
114	0.9186	3	H036	P8/285	0.830
115	0.9186	3	H036	P8/24	0.830
116	0.4366	2	H036	P8/5	0.592
117	0.4474	2	H036	P8/11	0.606
118	0.8289	2	H036	P8/292 25/286	1.123
119	0.0969	1	H036	P8/291	0.263
120	0.0832	1	H036	P8/287	0.225
121	0.0832	1	H036	P8/336	0.225
122	0.0832	1	H036	P8/270	0.225
123	0.2496	1	H036	P8/232	0.676
124	0.0832	1	H036	P8/193	0.225
125	0.3968	1	H036	P8/199	1.075
126	0.4198	2	H036	P8/198	0.569
127	0.3339	1	H036	P8/197	0.905
128	0.8316	2	H037	P8/17	1.127
129	0.4103	1	H037	P8/14	1.112
130	0.709	2	H037	P8/15	0.961
131	0.923	3	H037	P8/10	0.834
132	0.452	2	H037	P8/18	0.612
133	0.4649	2	H037	P8/26	0.630
134	0.4992	2	H037	P8/22	0.676

135	0.256	1	H037	P8/23	0.694
136	0.3612	1	H037	P8/320	0.979
137	0.4403	2	H037	PSD1	0.597
138	1.0322	3	H037	P8/7	0.932
139	0.2496	1	H037	P8/29	0.676
140	8.237	5	H037	PSD2	4.464
141	0.1796	1	H037	P8/20	0.487
142	1.1331	3	H038	P8/283	1.024
143	7.3831	5	H038	P6/315/273	4.002
SUMA	125.2038				118.391

ANEXO 2: CURVA DE NECESIDADES DE RIEGO

Anexo 2 - Curva de Necesidades de Riego

Mes	ETo (mm)	Kc	ETc (mm)	P (mm)	Pe (mm)	Nec. riego (l/m ²)	Factor de modulación	Necesidades m ³ /Ha	Litros/planta
Enero	39.72	0.755	29.98	33.04	18.65	11.33	100	113.35	283.37
Febrero	46.01	0.648	29.81	15.76	9.8	20.01	100	200.08	500.2
Marzo	71.99	0.541	38.95	36.03	20.36	18.59	100	185.89	464.72
Abril	95.56	0.541	51.71	35.58	21.34	30.36	100	303.62	759.04
Mayo	126.24	0.541	68.31	41.2	21.31	47	100	470	1174.99
Junio	144.71	0.541	78.3	10.16	5.99	72.31	100	723.1	1807.75
Julio	152.44	0.648	98.78	2.96	1.6	97.18	100	971.79	2429.47
Agosto	135.58	0.721	97.81	19.12	11.48	86.34	100	863.36	2158.41
Septiembre	96.56	0.775	74.82	32.68	18.93	55.89	100	558.92	1397.3
Octubre	67.51	0.808	54.57	47.38	23.58	30.99	100	309.86	774.64
Noviembre	43.08	0.755	32.52	57.58	28.32	4.2	100	41.98	104.96
Diciembre	33.62	0.755	25.38	30.08	18.03	7.35	100	73.52	183.81
TOTALES	1053.02	0.669	680.93	361.57	199.39	481.55		4815.47	12038.67

ANEXO 3: CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LA DISTRIBUCIÓN DE CLÉMENT

Anexo 3 – Tablas de Cálculo de los parámetros de la distribución de Clément

Tiempos de Riego (t_{ri} horas/días)

ID_TOMA	MES											
	Ener	Febrer	Marz	Abril	May	Junio	Julio	Agost	Septiembr	Octubr	Noviembr	Diciembr
1	3.80	3.54	3.76	2.40	2.74	2.55	2.83	2.93	2.15	2.13	1.61	2.53
2	4.22	3.93	4.18	5.28	6.03	5.63	5.31	5.50	4.03	3.43	2.59	4.07
3	10.61	9.88	10.50	5.92	6.76	6.31	3.64	3.77	2.76	1.44	1.09	1.71
4	3.38	3.15	3.35	9.61	10.96	10.24	6.24	6.46	4.74	4.33	3.26	5.13
5	3.47	3.23	3.43	4.98	5.68	5.30	3.86	4.00	2.93	1.25	0.94	1.48
6	1.09	1.02	1.08	1.69	1.93	1.80	5.13	5.31	3.89	2.47	1.86	2.93
7	2.69	2.51	2.66	11.67	13.31	12.43	8.93	9.25	6.78	3.43	2.59	4.08
8	1.98	1.85	1.96	2.51	2.87	2.68	3.24	3.35	2.46	0.93	0.70	1.11
9	2.13	1.98	2.11	5.95	6.79	6.34	1.54	1.60	1.17	3.30	2.49	3.91
10	1.49	1.39	1.48	1.04	1.19	1.11	1.19	1.23	0.90	1.39	1.05	1.65
11	1.58	1.48	1.57	8.49	9.69	9.05	6.56	6.79	4.98	3.83	2.89	4.55
12	3.07	2.86	3.03	3.49	3.98	3.71	3.21	3.32	2.43	1.00	0.75	1.19
13	1.89	1.76	1.87	5.43	6.19	5.78	3.63	3.76	2.76	1.89	1.42	2.24
14	6.40	5.97	6.34	5.02	5.73	5.35	4.83	5.00	3.66	3.86	2.91	4.58
15	1.37	1.27	1.35	0.98	1.12	1.04	1.18	1.23	0.90	0.75	0.57	0.89
16	3.11	2.90	3.08	2.72	3.11	2.90	4.46	4.61	3.38	1.82	1.37	2.16
17	0.79	0.74	0.78	2.35	2.68	2.50	3.20	3.32	2.43	1.48	1.12	1.76
18	1.94	1.81	1.92	3.58	4.09	3.81	2.60	2.69	1.97	2.04	1.54	2.42
19	3.59	3.35	3.56	4.42	5.04	4.71	3.63	3.76	2.75	3.36	2.53	3.99
20	2.78	2.59	2.75	2.82	3.22	3.00	2.92	3.02	2.22	2.27	1.71	2.70
21	1.73	1.61	1.71	2.10	2.39	2.24	1.48	1.54	1.13	1.02	0.77	1.21
22	1.13	1.05	1.11	2.08	2.37	2.21	2.24	2.32	1.70	0.95	0.72	1.13
23	1.07	1.00	1.06	1.50	1.71	1.60	1.13	1.17	0.86	0.61	0.46	0.72
24	1.62	1.51	1.60	2.11	2.41	2.25	1.30	1.35	0.99	1.33	1.01	1.58
25	1.95	1.82	1.93	1.98	2.26	2.11	1.05	1.09	0.80	1.61	1.22	1.91
26	0.56	0.52	0.55	2.27	2.59	2.42	2.05	2.12	1.55	0.86	0.65	1.03
27	0.00	0.00	0.00	0.79	0.90	0.84	1.14	1.18	0.86	0.36	0.27	0.42
28	2.45	2.28	2.42	0.46	0.53	0.49	0.50	0.52	0.38	0.87	0.65	1.03
29	1.37	1.27	1.35	0.18	0.20	0.19	0.82	0.85	0.62	0.00	0.00	0.00
30	1.63	1.52	1.61	3.16	3.61	3.37	3.72	3.85	2.82	3.69	2.78	4.38
31	1.71	1.59	1.69	1.61	1.84	1.72	1.79	1.85	1.36	1.26	0.95	1.50
32	1.21	1.13	1.20	1.78	2.03	1.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	1.15	1.07	1.14	1.02	1.17	1.09	1.88	1.94	1.42	0.23	0.17	0.27
34	6.68	6.23	6.61	12.15	13.86	12.94	9.43	9.77	7.16	4.96	3.74	5.89
35	1.87	1.74	1.85	4.69	5.35	4.99	2.88	2.99	2.19	2.45	1.85	2.90
36	1.49	1.39	1.48	1.90	2.17	2.02	3.94	4.08	2.99	2.16	1.63	2.56
37	2.90	2.71	2.87	11.16	12.74	11.90	17.75	18.37	13.46	2.81	2.12	3.34
38	7.66	7.13	7.57	5.54	6.32	5.90	3.15	3.26	2.39	3.31	2.50	3.93
39	2.31	2.16	2.29	4.13	4.71	4.40	2.91	3.01	2.21	2.34	1.76	2.77
40	1.09	1.02	1.08	1.84	2.10	1.96	2.35	2.43	1.78	1.14	0.86	1.35
41	3.14	2.92	3.11	4.67	5.33	4.97	1.96	2.03	1.49	1.49	1.12	1.77
42	1.88	1.75	1.86	12.07	13.77	12.86	14.58	15.09	11.06	3.50	2.64	4.15
43	2.15	2.00	2.13	3.94	4.50	4.20	4.06	4.20	3.08	1.23	0.93	1.46
44	5.05	4.71	5.00	5.15	5.88	5.49	5.10	5.28	3.87	5.33	4.02	6.32
45	6.04	5.63	5.98	7.80	8.90	8.31	7.88	8.15	5.97	2.55	1.92	3.03
46	1.18	1.10	1.17	4.97	5.68	5.30	3.10	3.21	2.35	3.40	2.56	4.03
47	3.77	3.51	3.73	9.90	11.29	10.55	12.99	13.44	9.85	3.46	2.61	4.11
48	1.77	1.65	1.75	2.96	3.37	3.15	4.24	4.39	3.22	5.46	4.12	6.48
49	1.53	1.43	1.52	4.12	4.70	4.39	4.73	4.90	3.59	2.11	1.59	2.50
50	4.53	4.22	4.48	3.21	3.67	3.43	3.47	3.59	2.63	3.33	2.51	3.96
51	2.71	2.53	2.68	4.31	4.92	4.60	2.35	2.43	1.78	1.27	0.96	1.51
52	0.10	0.09	0.10	1.10	1.26	1.17	1.05	1.09	0.80	0.06	0.04	0.07
53	0.14	0.13	0.14	1.15	1.32	1.23	3.24	3.35	2.46	2.39	1.80	2.84
54	0.80	0.75	0.79	1.29	1.47	1.37	1.80	1.87	1.37	1.62	1.22	1.92
55	2.12	1.97	2.10	2.30	2.62	2.45	2.67	2.76	2.02	1.34	1.01	1.59
56	1.33	1.24	1.32	1.68	1.92	1.79	1.24	1.28	0.94	0.73	0.55	0.87

57	1.48	1.38	1.47	1.67	1.90	1.78	1.74	1.80	1.32	1.42	1.07	1.69
58	3.90	3.63	3.86	4.10	4.68	4.37	3.89	4.03	2.95	1.09	0.82	1.29
59	4.04	3.76	4.00	2.93	3.34	3.12	4.12	4.27	3.13	3.79	2.86	4.50
60	0.96	0.89	0.95	2.47	2.82	2.63	4.33	4.48	3.28	1.20	0.91	1.43
61	5.87	5.47	5.81	5.69	6.49	6.06	8.10	8.39	6.15	4.66	3.52	5.54
62	11.78	10.97	11.65	9.12	10.40	9.71	10.67	11.04	8.09	4.42	3.33	5.25
63	2.49	2.32	2.46	4.27	4.87	4.55	2.75	2.85	2.09	1.97	1.48	2.33
64	1.08	1.00	1.07	13.21	15.08	14.08	12.55	12.99	9.52	3.22	2.43	3.83
65	0.72	0.67	0.71	4.80	5.48	5.12	2.80	2.90	2.12	0.00	0.00	0.00
66	3.84	3.58	3.80	5.39	6.16	5.75	4.63	4.80	3.51	2.81	2.12	3.33
67	1.32	1.23	1.31	2.29	2.62	2.44	1.02	1.06	0.78	0.56	0.42	0.66
68	3.86	3.60	3.82	8.33	9.50	8.87	8.89	9.21	6.75	5.49	4.14	6.52
69	7.08	6.59	7.00	7.68	8.76	8.18	5.22	5.40	3.96	3.68	2.78	4.37
70	5.28	4.91	5.22	1.52	1.73	1.62	4.39	4.55	3.33	2.14	1.62	2.54
71	4.49	4.18	4.44	3.22	3.67	3.43	2.76	2.86	2.09	1.85	1.40	2.20
72	2.31	2.16	2.29	2.84	3.24	3.03	3.07	3.18	2.33	1.47	1.11	1.74
73	1.94	1.81	1.92	2.96	3.37	3.15	1.11	1.15	0.84	2.01	1.52	2.38
74	4.26	3.97	4.22	4.32	4.93	4.61	1.05	1.09	0.80	0.00	0.00	0.00
75	4.41	4.10	4.36	4.31	4.92	4.60	1.07	1.11	0.81	0.00	0.00	0.00
76	3.15	2.94	3.12	3.23	3.68	3.44	6.23	6.44	4.72	1.07	0.81	1.27
77	3.75	3.50	3.71	2.69	3.07	2.86	1.55	1.60	1.18	2.92	2.20	3.46
78	0.91	0.85	0.90	1.72	1.96	1.83	0.75	0.78	0.57	2.91	2.20	3.46
79	0.00	0.00	0.00	0.91	1.04	0.97	1.14	1.18	0.86	0.00	0.00	0.00
80	0.00	0.00	0.00	0.23	0.26	0.24	0.00	0.00	0.00	1.03	0.78	1.22
81	0.00	0.00	0.00	1.11	1.27	1.19	0.00	0.00	0.00	0.97	0.73	1.15
82	4.10	3.82	4.06	4.42	5.05	4.71	6.85	7.09	5.19	4.10	3.09	4.86
83	9.70	9.04	9.60	10.86	12.39	11.57	10.47	10.84	7.95	5.56	4.19	6.60
84	5.67	5.28	5.61	1.44	1.65	1.54	1.12	1.16	0.85	0.90	0.68	1.07
85	0.77	0.71	0.76	6.73	7.68	7.17	4.73	4.89	3.58	1.60	1.21	1.90
86	0.75	0.69	0.74	1.11	1.27	1.19	2.27	2.35	1.73	1.09	0.82	1.29
87	1.86	1.73	1.84	1.59	1.82	1.70	2.32	2.40	1.76	1.22	0.92	1.45
88	1.56	1.45	1.54	1.56	1.79	1.67	1.53	1.59	1.16	1.62	1.22	1.92
89	0.07	0.07	0.07	0.18	0.21	0.20	0.26	0.27	0.20	0.03	0.02	0.04
90	3.40	3.17	3.36	3.05	3.48	3.25	3.10	3.21	2.35	2.85	2.15	3.38
91	1.72	1.61	1.71	1.31	1.50	1.40	1.07	1.10	0.81	0.94	0.71	1.12
92	6.50	6.05	6.43	12.40	14.15	13.21	3.20	3.31	2.42	7.39	5.58	8.77
93	6.01	5.60	5.95	8.85	10.10	9.43	8.14	8.42	6.17	2.40	1.81	2.85
94	3.23	3.01	3.19	7.52	8.58	8.01	5.38	5.57	4.08	2.42	1.82	2.87
95	4.23	3.94	4.19	5.92	6.76	6.31	7.26	7.52	5.51	2.79	2.10	3.31
96	5.06	4.72	5.01	3.14	3.58	3.35	10.13	10.48	7.68	5.90	4.45	7.00
97	6.08	5.67	6.02	7.28	8.30	7.75	7.03	7.28	5.34	4.51	3.40	5.35
98	5.29	4.92	5.23	6.85	7.82	7.30	7.84	8.11	5.94	5.69	4.29	6.76
99	7.30	6.80	7.22	9.41	10.74	10.02	13.02	13.47	9.87	2.39	1.80	2.84
100	4.76	4.44	4.71	0.22	0.25	0.23	9.53	9.87	7.23	3.74	2.82	4.44
101	3.81	3.55	3.77	1.11	1.27	1.18	4.37	4.52	3.31	1.88	1.42	2.23
102	8.31	7.75	8.23	1.65	1.88	1.76	8.63	8.93	6.54	4.01	3.02	4.75
103	7.33	6.83	7.25	8.04	9.17	8.57	9.33	9.66	7.08	2.47	1.86	2.93
104	0.90	0.84	0.89	4.05	4.63	4.32	2.19	2.26	1.66	0.02	0.01	0.02
105	6.42	5.98	6.35	8.68	9.91	9.25	13.58	14.06	10.30	3.63	2.74	4.31
106	9.58	8.92	9.47	14.88	16.99	15.86	2.77	2.87	2.10	0.79	0.59	0.93
107	7.81	7.28	7.73	7.07	8.07	7.53	8.34	8.64	6.33	2.78	2.10	3.30
108	2.60	2.42	2.57	4.27	4.88	4.55	2.97	3.07	2.25	1.16	0.88	1.38
109	0.23	0.22	0.23	0.60	0.68	0.64	0.97	1.00	0.73	0.00	0.00	0.00
110	0.21	0.19	0.20	0.37	0.42	0.39	0.65	0.67	0.49	0.18	0.13	0.21
111	0.00	0.00	0.00	0.72	0.82	0.77	1.75	1.81	1.33	0.82	0.62	0.98
112	1.16	1.08	1.15	1.04	1.18	1.11	0.67	0.69	0.51	0.90	0.68	1.07
113	4.47	4.17	4.43	5.29	6.03	5.63	5.13	5.31	3.89	3.21	2.42	3.81
114	0.00	0.00	0.00	2.06	2.35	2.19	6.00	6.21	4.55	2.39	1.80	2.83
115	3.48	3.25	3.45	3.59	4.10	3.83	2.03	2.10	1.54	1.63	1.23	1.93
116	3.50	3.26	3.46	3.38	3.85	3.60	3.99	4.13	3.03	3.13	2.36	3.71
117	6.52	6.08	6.45	6.25	7.13	6.66	2.57	2.66	1.95	2.93	2.21	3.47
118	6.54	6.09	6.47	8.36	9.54	8.91	9.30	9.63	7.05	2.28	1.72	2.71
119	0.91	0.85	0.90	0.96	1.09	1.02	1.55	1.60	1.18	0.57	0.43	0.68

120	4.52	4.21	4.48	4.23	4.82	4.50	7.11	7.36	5.39	2.62	1.98	3.11
121	0.00	0.00	0.00	0.92	1.05	0.98	0.00	0.00	0.00	0.87	0.66	1.03
122	0.13	0.12	0.13	0.73	0.84	0.78	0.86	0.89	0.66	0.04	0.03	0.05
123	0.21	0.20	0.21	0.98	1.12	1.05	0.65	0.67	0.49	0.08	0.06	0.10
124	1.79	1.67	1.77	1.00	1.14	1.07	2.93	3.03	2.22	1.49	1.12	1.77
125	2.55	2.37	2.52	3.19	3.64	3.40	4.84	5.01	3.67	1.00	0.75	1.19
126	2.85	2.65	2.82	3.34	3.81	3.56	3.02	3.12	2.29	2.27	1.71	2.70
127	2.12	1.98	2.10	2.18	2.48	2.32	1.67	1.73	1.27	1.96	1.48	2.32
128	8.10	7.55	8.02	9.14	10.43	9.74	4.52	4.68	3.43	0.92	0.69	1.09
129	2.60	2.42	2.57	2.98	3.39	3.17	4.88	5.05	3.70	1.83	1.38	2.17
130	4.32	4.03	4.28	8.76	9.99	9.33	6.48	6.71	4.92	0.57	0.43	0.68
131	2.67	2.49	2.65	2.38	2.72	2.54	5.88	6.08	4.46	3.60	2.71	4.27
132	2.44	2.28	2.42	3.02	3.45	3.22	1.50	1.55	1.14	4.82	3.64	5.72
133	0.84	0.78	0.83	0.47	0.54	0.50	0.82	0.85	0.63	0.19	0.14	0.23
134	1.84	1.72	1.82	1.89	2.16	2.02	1.43	1.48	1.09	1.71	1.29	2.03
135	2.95	2.74	2.91	2.86	3.26	3.04	3.56	3.68	2.70	2.61	1.97	3.10
136	3.16	2.95	3.13	2.39	2.73	2.54	1.45	1.50	1.10	2.12	1.60	2.51
137	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.17	0.27
138	0.81	0.75	0.80	1.06	1.21	1.13	0.90	0.93	0.68	0.85	0.64	1.01
139	0.26	0.24	0.26	0.57	0.65	0.61	0.80	0.83	0.61	0.24	0.18	0.28
140	1.91	1.77	1.88	8.39	9.57	8.94	12.67	13.11	9.61	4.27	3.22	5.07
141	6.15	5.73	6.08	1.21	1.39	1.29	0.89	0.92	0.68	1.88	1.42	2.24
142	1.97	1.84	1.95	3.70	4.22	3.94	2.11	2.19	1.60	1.26	0.95	1.50
143	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Probabilidad de Apertura de las tomas (p_i)

ID_TOMA	MES											
	Ener	Febrer	Marz	Abril	May	Junio	Julio	Agosto	Septiembr	Octubr	Noviembr	Diciembr
1	0.16	0.15	0.16	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	0.09	0.09	0.07	0.11
2	0.18	0.16	0.17	0.22	0.25	0.23	0.22	0.23	0.17	0.14	0.11	0.17
3	0.44	0.41	0.44	0.25	0.28	0.26	0.15	0.16	0.12	0.06	0.05	0.07
4	0.14	0.13	0.14	0.40	0.46	0.43	0.26	0.27	0.20	0.18	0.14	0.21
5	0.14	0.13	0.14	0.21	0.24	0.22	0.16	0.17	0.12	0.05	0.04	0.06
6	0.05	0.04	0.04	0.07	0.08	0.07	0.21	0.22	0.16	0.10	0.08	0.12
7	0.11	0.10	0.11	0.49	0.55	0.52	0.37	0.39	0.28	0.14	0.11	0.17
8	0.08	0.08	0.08	0.10	0.12	0.11	0.13	0.14	0.10	0.04	0.03	0.05
9	0.09	0.08	0.09	0.25	0.28	0.26	0.06	0.07	0.05	0.14	0.10	0.16
10	0.06	0.06	0.06	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.06	0.04	0.07
11	0.07	0.06	0.07	0.35	0.40	0.38	0.27	0.28	0.21	0.16	0.12	0.19
12	0.13	0.12	0.13	0.15	0.17	0.15	0.13	0.14	0.10	0.04	0.03	0.05
13	0.08	0.07	0.08	0.23	0.26	0.24	0.15	0.16	0.11	0.08	0.06	0.09
14	0.27	0.25	0.26	0.21	0.24	0.22	0.20	0.21	0.15	0.16	0.12	0.19
15	0.06	0.05	0.06	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02	0.04
16	0.13	0.12	0.13	0.11	0.13	0.12	0.19	0.19	0.14	0.08	0.06	0.09
17	0.03	0.03	0.03	0.10	0.11	0.10	0.13	0.14	0.10	0.06	0.05	0.07
18	0.08	0.08	0.08	0.15	0.17	0.16	0.11	0.11	0.08	0.09	0.06	0.10
19	0.15	0.14	0.15	0.18	0.21	0.20	0.15	0.16	0.11	0.14	0.11	0.17
20	0.12	0.11	0.11	0.12	0.13	0.13	0.12	0.13	0.09	0.09	0.07	0.11
21	0.07	0.07	0.07	0.09	0.10	0.09	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03	0.05
22	0.05	0.04	0.05	0.09	0.10	0.09	0.09	0.10	0.07	0.04	0.03	0.05
23	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	0.07	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02	0.03
24	0.07	0.06	0.07	0.09	0.10	0.09	0.05	0.06	0.04	0.06	0.04	0.07
25	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.04	0.05	0.03	0.07	0.05	0.08
26	0.02	0.02	0.02	0.09	0.11	0.10	0.09	0.09	0.06	0.04	0.03	0.04
27	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.03	0.05	0.05	0.04	0.01	0.01	0.02
28	0.10	0.09	0.10	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.04
29	0.06	0.05	0.06	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00
30	0.07	0.06	0.07	0.13	0.15	0.14	0.16	0.16	0.12	0.15	0.12	0.18
31	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.06	0.05	0.04	0.06
32	0.05	0.05	0.05	0.07	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

33	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.08	0.08	0.06	0.01	0.01	0.01
34	0.28	0.26	0.28	0.51	0.58	0.54	0.39	0.41	0.30	0.21	0.16	0.25
35	0.08	0.07	0.08	0.20	0.22	0.21	0.12	0.12	0.09	0.10	0.08	0.12
36	0.06	0.06	0.06	0.08	0.09	0.08	0.16	0.17	0.12	0.09	0.07	0.11
37	0.12	0.11	0.12	0.47	0.53	0.50	0.74	0.77	0.56	0.12	0.09	0.14
38	0.32	0.30	0.32	0.23	0.26	0.25	0.13	0.14	0.10	0.14	0.10	0.16
39	0.10	0.09	0.10	0.17	0.20	0.18	0.12	0.13	0.09	0.10	0.07	0.12
40	0.05	0.04	0.05	0.08	0.09	0.08	0.10	0.10	0.07	0.05	0.04	0.06
41	0.13	0.12	0.13	0.19	0.22	0.21	0.08	0.08	0.06	0.06	0.05	0.07
42	0.08	0.07	0.08	0.50	0.57	0.54	0.61	0.63	0.46	0.15	0.11	0.17
43	0.09	0.08	0.09	0.16	0.19	0.18	0.17	0.17	0.13	0.05	0.04	0.06
44	0.21	0.20	0.21	0.21	0.25	0.23	0.21	0.22	0.16	0.22	0.17	0.26
45	0.25	0.23	0.25	0.33	0.37	0.35	0.33	0.34	0.25	0.11	0.08	0.13
46	0.05	0.05	0.05	0.21	0.24	0.22	0.13	0.13	0.10	0.14	0.11	0.17
47	0.16	0.15	0.16	0.41	0.47	0.44	0.54	0.56	0.41	0.14	0.11	0.17
48	0.07	0.07	0.07	0.12	0.14	0.13	0.18	0.18	0.13	0.23	0.17	0.27
49	0.06	0.06	0.06	0.17	0.20	0.18	0.20	0.20	0.15	0.09	0.07	0.10
50	0.19	0.18	0.19	0.13	0.15	0.14	0.14	0.15	0.11	0.14	0.10	0.16
51	0.11	0.11	0.11	0.18	0.21	0.19	0.10	0.10	0.07	0.05	0.04	0.06
52	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00
53	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05	0.05	0.13	0.14	0.10	0.10	0.08	0.12
54	0.03	0.03	0.03	0.05	0.06	0.06	0.08	0.08	0.06	0.07	0.05	0.08
55	0.09	0.08	0.09	0.10	0.11	0.10	0.11	0.12	0.08	0.06	0.04	0.07
56	0.06	0.05	0.05	0.07	0.08	0.07	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02	0.04
57	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.06	0.06	0.04	0.07
58	0.16	0.15	0.16	0.17	0.19	0.18	0.16	0.17	0.12	0.05	0.03	0.05
59	0.17	0.16	0.17	0.12	0.14	0.13	0.17	0.18	0.13	0.16	0.12	0.19
60	0.04	0.04	0.04	0.10	0.12	0.11	0.18	0.19	0.14	0.05	0.04	0.06
61	0.24	0.23	0.24	0.24	0.27	0.25	0.34	0.35	0.26	0.19	0.15	0.23
62	0.49	0.46	0.49	0.38	0.43	0.40	0.44	0.46	0.34	0.18	0.14	0.22
63	0.10	0.10	0.10	0.18	0.20	0.19	0.11	0.12	0.09	0.08	0.06	0.10
64	0.04	0.04	0.04	0.55	0.63	0.59	0.52	0.54	0.40	0.13	0.10	0.16
65	0.03	0.03	0.03	0.20	0.23	0.21	0.12	0.12	0.09	0.00	0.00	0.00
66	0.16	0.15	0.16	0.22	0.26	0.24	0.19	0.20	0.15	0.12	0.09	0.14
67	0.06	0.05	0.05	0.10	0.11	0.10	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03
68	0.16	0.15	0.16	0.35	0.40	0.37	0.37	0.38	0.28	0.23	0.17	0.27
69	0.29	0.27	0.29	0.32	0.37	0.34	0.22	0.23	0.16	0.15	0.12	0.18
70	0.22	0.20	0.22	0.06	0.07	0.07	0.18	0.19	0.14	0.09	0.07	0.11
71	0.19	0.17	0.18	0.13	0.15	0.14	0.12	0.12	0.09	0.08	0.06	0.09
72	0.10	0.09	0.10	0.12	0.14	0.13	0.13	0.13	0.10	0.06	0.05	0.07
73	0.08	0.08	0.08	0.12	0.14	0.13	0.05	0.05	0.04	0.08	0.06	0.10
74	0.18	0.17	0.18	0.18	0.21	0.19	0.04	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00
75	0.18	0.17	0.18	0.18	0.21	0.19	0.04	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00
76	0.13	0.12	0.13	0.13	0.15	0.14	0.26	0.27	0.20	0.04	0.03	0.05
77	0.16	0.15	0.15	0.11	0.13	0.12	0.06	0.07	0.05	0.12	0.09	0.14
78	0.04	0.04	0.04	0.07	0.08	0.08	0.03	0.03	0.02	0.12	0.09	0.14
79	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00
80	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.05
81	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.05
82	0.17	0.16	0.17	0.18	0.21	0.20	0.29	0.30	0.22	0.17	0.13	0.20
83	0.40	0.38	0.40	0.45	0.52	0.48	0.44	0.45	0.33	0.23	0.17	0.27
84	0.24	0.22	0.23	0.06	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04
85	0.03	0.03	0.03	0.28	0.32	0.30	0.20	0.20	0.15	0.07	0.05	0.08
86	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.09	0.10	0.07	0.05	0.03	0.05
87	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07	0.10	0.10	0.07	0.05	0.04	0.06
88	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.06	0.07	0.05	0.07	0.05	0.08
89	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
90	0.14	0.13	0.14	0.13	0.15	0.14	0.13	0.13	0.10	0.12	0.09	0.14
91	0.07	0.07	0.07	0.05	0.06	0.06	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.05
92	0.27	0.25	0.27	0.52	0.59	0.55	0.13	0.14	0.10	0.31	0.23	0.37
93	0.25	0.23	0.25	0.37	0.42	0.39	0.34	0.35	0.26	0.10	0.08	0.12
94	0.13	0.13	0.13	0.31	0.36	0.33	0.22	0.23	0.17	0.10	0.08	0.12
95	0.18	0.16	0.17	0.25	0.28	0.26	0.30	0.31	0.23	0.12	0.09	0.14

96	0.21	0.20	0.21	0.13	0.15	0.14	0.42	0.44	0.32	0.25	0.19	0.29
97	0.25	0.24	0.25	0.30	0.35	0.32	0.29	0.30	0.22	0.19	0.14	0.22
98	0.22	0.21	0.22	0.29	0.33	0.30	0.33	0.34	0.25	0.24	0.18	0.28
99	0.30	0.28	0.30	0.39	0.45	0.42	0.54	0.56	0.41	0.10	0.08	0.12
100	0.20	0.18	0.20	0.01	0.01	0.01	0.40	0.41	0.30	0.16	0.12	0.18
101	0.16	0.15	0.16	0.05	0.05	0.05	0.18	0.19	0.14	0.08	0.06	0.09
102	0.35	0.32	0.34	0.07	0.08	0.07	0.36	0.37	0.27	0.17	0.13	0.20
103	0.31	0.28	0.30	0.33	0.38	0.36	0.39	0.40	0.30	0.10	0.08	0.12
104	0.04	0.04	0.04	0.17	0.19	0.18	0.09	0.09	0.07	0.00	0.00	0.00
105	0.27	0.25	0.26	0.36	0.41	0.39	0.57	0.59	0.43	0.15	0.11	0.18
106	0.40	0.37	0.39	0.62	0.71	0.66	0.12	0.12	0.09	0.03	0.02	0.04
107	0.33	0.30	0.32	0.29	0.34	0.31	0.35	0.36	0.26	0.12	0.09	0.14
108	0.11	0.10	0.11	0.18	0.20	0.19	0.12	0.13	0.09	0.05	0.04	0.06
109	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00
110	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
111	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.07	0.08	0.06	0.03	0.03	0.04
112	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.04
113	0.19	0.17	0.18	0.22	0.25	0.23	0.21	0.22	0.16	0.13	0.10	0.16
114	0.00	0.00	0.00	0.09	0.10	0.09	0.25	0.26	0.19	0.10	0.07	0.12
115	0.15	0.14	0.14	0.15	0.17	0.16	0.08	0.09	0.06	0.07	0.05	0.08
116	0.15	0.14	0.14	0.14	0.16	0.15	0.17	0.17	0.13	0.13	0.10	0.15
117	0.27	0.25	0.27	0.26	0.30	0.28	0.11	0.11	0.08	0.12	0.09	0.14
118	0.27	0.25	0.27	0.35	0.40	0.37	0.39	0.40	0.29	0.09	0.07	0.11
119	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.06	0.07	0.05	0.02	0.02	0.03
120	0.19	0.18	0.19	0.18	0.20	0.19	0.30	0.31	0.22	0.11	0.08	0.13
121	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.04
122	0.01	0.00	0.01	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00
123	0.01	0.01	0.01	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00
124	0.07	0.07	0.07	0.04	0.05	0.04	0.12	0.13	0.09	0.06	0.05	0.07
125	0.11	0.10	0.11	0.13	0.15	0.14	0.20	0.21	0.15	0.04	0.03	0.05
126	0.12	0.11	0.12	0.14	0.16	0.15	0.13	0.13	0.10	0.09	0.07	0.11
127	0.09	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.07	0.07	0.05	0.08	0.06	0.10
128	0.34	0.31	0.33	0.38	0.43	0.41	0.19	0.19	0.14	0.04	0.03	0.05
129	0.11	0.10	0.11	0.12	0.14	0.13	0.20	0.21	0.15	0.08	0.06	0.09
130	0.18	0.17	0.18	0.36	0.42	0.39	0.27	0.28	0.20	0.02	0.02	0.03
131	0.11	0.10	0.11	0.10	0.11	0.11	0.24	0.25	0.19	0.15	0.11	0.18
132	0.10	0.09	0.10	0.13	0.14	0.13	0.06	0.06	0.05	0.20	0.15	0.24
133	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.01	0.01	0.01
134	0.08	0.07	0.08	0.08	0.09	0.08	0.06	0.06	0.05	0.07	0.05	0.08
135	0.12	0.11	0.12	0.12	0.14	0.13	0.15	0.15	0.11	0.11	0.08	0.13
136	0.13	0.12	0.13	0.10	0.11	0.11	0.06	0.06	0.05	0.09	0.07	0.10
137	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
138	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04
139	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01
140	0.08	0.07	0.08	0.35	0.40	0.37	0.53	0.55	0.40	0.18	0.13	0.21
141	0.26	0.24	0.25	0.05	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.08	0.06	0.09
142	0.08	0.08	0.08	0.15	0.18	0.16	0.09	0.09	0.07	0.05	0.04	0.06
143	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Media ($p_i \cdot q_i$)

ID_TOMA	MES											
	Ener	Febrer	Marz	Abril	May	Junio	Julio	Agost	Septiembr	Octubr	Noviembr	Diciembr
1	0.11	0.10	0.11	0.07	0.08	0.07	0.08	0.08	0.06	0.06	0.05	0.07
2	0.19	0.18	0.19	0.24	0.27	0.26	0.24	0.25	0.18	0.16	0.12	0.18
3	0.29	0.27	0.29	0.16	0.18	0.17	0.10	0.10	0.08	0.04	0.03	0.05
4	0.20	0.18	0.19	0.55	0.63	0.59	0.36	0.37	0.27	0.25	0.19	0.30
5	0.08	0.08	0.08	0.12	0.14	0.13	0.09	0.10	0.07	0.03	0.02	0.04
6	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	0.06	0.18	0.18	0.13	0.09	0.06	0.10
7	0.23	0.21	0.23	0.99	1.13	1.06	0.76	0.79	0.58	0.29	0.22	0.35
8	0.08	0.07	0.08	0.10	0.11	0.11	0.13	0.13	0.10	0.04	0.03	0.04

9	0.07	0.07	0.07	0.20	0.22	0.21	0.05	0.05	0.04	0.11	0.08	0.13
10	0.06	0.05	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.05	0.04	0.06
11	0.06	0.06	0.06	0.32	0.37	0.34	0.25	0.26	0.19	0.14	0.11	0.17
12	0.11	0.10	0.11	0.13	0.15	0.14	0.12	0.12	0.09	0.04	0.03	0.04
13	0.08	0.07	0.08	0.22	0.25	0.23	0.15	0.15	0.11	0.08	0.06	0.09
14	0.29	0.27	0.28	0.22	0.26	0.24	0.22	0.22	0.16	0.17	0.13	0.20
15	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02
16	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07	0.11	0.11	0.08	0.05	0.03	0.05
17	0.04	0.03	0.04	0.11	0.12	0.11	0.14	0.15	0.11	0.07	0.05	0.08
18	0.06	0.05	0.06	0.11	0.12	0.11	0.08	0.08	0.06	0.06	0.05	0.07
19	0.11	0.10	0.11	0.13	0.15	0.14	0.11	0.11	0.08	0.10	0.08	0.12
20	0.11	0.11	0.11	0.12	0.13	0.12	0.12	0.12	0.09	0.09	0.07	0.11
21	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02	0.04
22	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.02	0.01	0.02
23	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
24	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
25	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.02	0.03	0.02	0.04	0.03	0.04
26	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
27	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
28	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
29	0.14	0.13	0.14	0.02	0.02	0.02	0.08	0.09	0.06	0.00	0.00	0.00
30	0.07	0.07	0.07	0.14	0.16	0.15	0.17	0.17	0.13	0.16	0.12	0.20
31	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03
32	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.06	0.06	0.04	0.01	0.01	0.01
34	0.31	0.29	0.30	0.56	0.64	0.60	0.44	0.45	0.33	0.23	0.17	0.27
35	0.07	0.06	0.06	0.16	0.19	0.17	0.10	0.10	0.08	0.08	0.06	0.10
36	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.06	0.06	0.04	0.03	0.02	0.04
37	0.02	0.02	0.02	0.09	0.11	0.10	0.15	0.16	0.11	0.02	0.02	0.03
38	0.27	0.25	0.27	0.20	0.23	0.21	0.11	0.12	0.09	0.12	0.09	0.14
39	0.06	0.06	0.06	0.11	0.12	0.12	0.08	0.08	0.06	0.06	0.05	0.07
40	0.05	0.04	0.04	0.08	0.09	0.08	0.10	0.10	0.07	0.05	0.04	0.06
41	0.12	0.11	0.12	0.18	0.20	0.19	0.07	0.08	0.06	0.06	0.04	0.07
42	0.08	0.08	0.08	0.55	0.62	0.58	0.66	0.68	0.50	0.16	0.12	0.19
43	0.08	0.07	0.08	0.15	0.17	0.16	0.15	0.16	0.11	0.05	0.03	0.05
44	0.23	0.21	0.22	0.23	0.26	0.25	0.23	0.24	0.17	0.24	0.18	0.28
45	0.28	0.26	0.28	0.36	0.41	0.38	0.36	0.38	0.28	0.12	0.09	0.14
46	0.05	0.05	0.05	0.22	0.25	0.24	0.14	0.14	0.11	0.15	0.11	0.18
47	0.15	0.14	0.15	0.40	0.46	0.43	0.53	0.54	0.40	0.14	0.11	0.17
48	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05	0.04	0.06
49	0.07	0.07	0.07	0.19	0.22	0.20	0.22	0.23	0.17	0.10	0.07	0.12
50	0.16	0.15	0.16	0.11	0.13	0.12	0.12	0.12	0.09	0.12	0.09	0.14
51	0.13	0.12	0.13	0.20	0.23	0.22	0.11	0.11	0.08	0.06	0.04	0.07
52	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00
53	0.01	0.00	0.01	0.04	0.05	0.04	0.12	0.12	0.09	0.09	0.06	0.10
54	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.04	0.05	0.04	0.06
55	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.06	0.04	0.03	0.04
56	0.06	0.06	0.06	0.08	0.09	0.08	0.06	0.06	0.04	0.03	0.03	0.04
57	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.06	0.06	0.04	0.07
58	0.16	0.15	0.16	0.17	0.19	0.18	0.16	0.16	0.12	0.04	0.03	0.05
59	0.15	0.14	0.15	0.11	0.13	0.12	0.15	0.16	0.12	0.14	0.11	0.17
60	0.04	0.04	0.04	0.10	0.11	0.10	0.17	0.18	0.13	0.05	0.04	0.06
61	0.22	0.21	0.22	0.21	0.24	0.23	0.30	0.31	0.23	0.17	0.13	0.21
62	0.43	0.40	0.42	0.33	0.38	0.35	0.39	0.40	0.29	0.16	0.12	0.19
63	0.11	0.10	0.11	0.19	0.21	0.20	0.12	0.12	0.09	0.09	0.07	0.10
64	0.05	0.04	0.05	0.59	0.67	0.62	0.56	0.58	0.42	0.14	0.11	0.17
65	0.01	0.01	0.01	0.09	0.10	0.10	0.05	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00
66	0.12	0.11	0.12	0.16	0.19	0.18	0.14	0.15	0.11	0.09	0.06	0.10
67	0.05	0.05	0.05	0.10	0.11	0.10	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03
68	0.15	0.14	0.15	0.32	0.36	0.34	0.34	0.35	0.26	0.21	0.16	0.25
69	0.26	0.24	0.26	0.28	0.32	0.30	0.19	0.20	0.15	0.14	0.10	0.16
70	0.20	0.18	0.20	0.06	0.06	0.06	0.16	0.17	0.13	0.08	0.06	0.10
71	0.16	0.15	0.16	0.11	0.13	0.12	0.10	0.10	0.07	0.07	0.05	0.08

72	0.08	0.07	0.08	0.09	0.11	0.10	0.10	0.11	0.08	0.05	0.04	0.06
73	0.07	0.06	0.06	0.10	0.11	0.11	0.04	0.04	0.03	0.07	0.05	0.08
74	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
75	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
76	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10	0.09	0.16	0.17	0.12	0.03	0.02	0.03
77	0.16	0.15	0.16	0.11	0.13	0.12	0.07	0.07	0.05	0.12	0.09	0.15
78	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.05	0.04	0.06
79	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
81	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
82	0.17	0.15	0.16	0.18	0.20	0.19	0.28	0.29	0.21	0.17	0.13	0.20
83	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
84	0.05	0.05	0.05	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
85	0.03	0.02	0.03	0.23	0.26	0.24	0.16	0.16	0.12	0.05	0.04	0.06
86	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
87	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
88	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04
89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.12	0.11	0.11	0.10	0.12	0.11	0.11	0.11	0.08	0.10	0.07	0.12
91	0.06	0.05	0.06	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04
92	0.07	0.06	0.06	0.12	0.14	0.13	0.03	0.03	0.02	0.07	0.06	0.09
93	0.27	0.25	0.26	0.39	0.45	0.42	0.36	0.37	0.27	0.11	0.08	0.13
94	0.18	0.16	0.17	0.41	0.47	0.44	0.29	0.30	0.22	0.13	0.10	0.16
95	0.20	0.18	0.20	0.28	0.32	0.29	0.34	0.35	0.26	0.13	0.10	0.15
96	0.24	0.22	0.23	0.15	0.17	0.16	0.47	0.49	0.36	0.28	0.21	0.33
97	0.27	0.25	0.27	0.32	0.37	0.34	0.31	0.32	0.24	0.20	0.15	0.24
98	0.22	0.20	0.21	0.28	0.32	0.30	0.32	0.33	0.24	0.23	0.18	0.28
99	0.20	0.18	0.20	0.25	0.29	0.27	0.35	0.36	0.27	0.06	0.05	0.08
100	0.25	0.24	0.25	0.01	0.01	0.01	0.51	0.53	0.39	0.20	0.15	0.24
101	0.16	0.15	0.16	0.05	0.05	0.05	0.19	0.19	0.14	0.08	0.06	0.10
102	0.46	0.43	0.46	0.09	0.10	0.10	0.48	0.50	0.36	0.22	0.17	0.26
103	0.27	0.25	0.27	0.30	0.34	0.32	0.35	0.36	0.26	0.09	0.07	0.11
104	0.03	0.03	0.03	0.15	0.18	0.16	0.08	0.09	0.06	0.00	0.00	0.00
105	0.29	0.27	0.29	0.40	0.45	0.42	0.62	0.64	0.47	0.17	0.13	0.20
106	0.60	0.56	0.60	0.94	1.07	1.00	0.17	0.18	0.13	0.05	0.04	0.06
107	0.27	0.25	0.27	0.24	0.28	0.26	0.29	0.30	0.22	0.10	0.07	0.11
108	0.09	0.08	0.09	0.15	0.17	0.16	0.10	0.11	0.08	0.04	0.03	0.05
109	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.04	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00
110	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
111	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
112	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
113	0.16	0.15	0.16	0.19	0.22	0.21	0.19	0.19	0.14	0.12	0.09	0.14
114	0.00	0.00	0.00	0.07	0.08	0.08	0.21	0.21	0.16	0.08	0.06	0.10
115	0.12	0.11	0.12	0.12	0.14	0.13	0.07	0.07	0.05	0.06	0.04	0.07
116	0.09	0.08	0.09	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.07	0.08	0.06	0.09
117	0.16	0.15	0.16	0.16	0.18	0.17	0.06	0.07	0.05	0.07	0.06	0.09
118	0.31	0.29	0.30	0.39	0.45	0.42	0.44	0.45	0.33	0.11	0.08	0.13
119	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01
120	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.07	0.07	0.05	0.02	0.02	0.03
121	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
122	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
123	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
124	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02
125	0.11	0.11	0.11	0.14	0.16	0.15	0.22	0.22	0.16	0.04	0.03	0.05
126	0.07	0.06	0.07	0.08	0.09	0.08	0.07	0.07	0.05	0.05	0.04	0.06
127	0.08	0.07	0.08	0.08	0.09	0.09	0.06	0.07	0.05	0.07	0.06	0.09
128	0.38	0.35	0.38	0.43	0.49	0.46	0.21	0.22	0.16	0.04	0.03	0.05
129	0.12	0.11	0.12	0.14	0.16	0.15	0.23	0.23	0.17	0.08	0.06	0.10
130	0.17	0.16	0.17	0.35	0.40	0.37	0.26	0.27	0.20	0.02	0.02	0.03
131	0.09	0.09	0.09	0.08	0.09	0.09	0.20	0.21	0.15	0.12	0.09	0.15
132	0.06	0.06	0.06	0.08	0.09	0.08	0.04	0.04	0.03	0.12	0.09	0.15
133	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01
134	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.04	0.04	0.03	0.05	0.04	0.06

135	0.09	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.11	0.08	0.08	0.06	0.09
136	0.13	0.12	0.13	0.10	0.11	0.10	0.06	0.06	0.04	0.09	0.07	0.10
137	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
138	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04
139	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
140	0.35	0.33	0.35	1.56	1.78	1.66	2.36	2.44	1.79	0.79	0.60	0.94
141	0.12	0.12	0.12	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.04	0.03	0.05
142	0.08	0.08	0.08	0.16	0.18	0.17	0.09	0.09	0.07	0.05	0.04	0.06
143	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$\sum p_i * q_i$	15.29	14.24	15.12	21.83	24.91	23.26	22.56	23.35	17.11	10.99	8.29	13.05

Varianza ($p_i * q_{di}^2 * (1 - p_i)$)

ID_TOMA	MES											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	0.06	0.06	0.06	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05
2	0.17	0.16	0.17	0.20	0.22	0.21	0.20	0.21	0.17	0.15	0.11	0.17
3	0.10	0.10	0.10	0.08	0.09	0.08	0.05	0.06	0.04	0.02	0.02	0.03
4	0.23	0.22	0.23	0.46	0.48	0.47	0.37	0.38	0.30	0.28	0.23	0.32
5	0.04	0.04	0.04	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.02	0.01	0.02
6	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.12	0.12	0.09	0.06	0.05	0.07
7	0.42	0.39	0.41	1.04	1.03	1.04	0.98	0.99	0.85	0.51	0.40	0.59
8	0.07	0.06	0.07	0.09	0.10	0.09	0.11	0.11	0.08	0.03	0.03	0.04
9	0.05	0.05	0.05	0.12	0.13	0.12	0.04	0.04	0.03	0.07	0.06	0.08
10	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.05
11	0.05	0.05	0.05	0.19	0.20	0.19	0.16	0.17	0.13	0.11	0.09	0.13
12	0.09	0.08	0.09	0.10	0.11	0.10	0.09	0.09	0.07	0.03	0.02	0.04
13	0.07	0.06	0.07	0.17	0.18	0.17	0.12	0.13	0.10	0.07	0.05	0.08
14	0.22	0.21	0.22	0.19	0.21	0.20	0.18	0.19	0.15	0.15	0.12	0.18
15	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
16	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.04	0.03	0.02	0.03
17	0.04	0.03	0.04	0.10	0.12	0.11	0.13	0.14	0.11	0.07	0.05	0.08
18	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	0.07	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05
19	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.05	0.06	0.05	0.07
20	0.10	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.10	0.11	0.08	0.08	0.06	0.10
21	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03
22	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
23	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
25	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0.33	0.30	0.32	0.04	0.05	0.05	0.20	0.21	0.15	0.00	0.00	0.00
30	0.07	0.07	0.07	0.13	0.15	0.14	0.15	0.15	0.12	0.15	0.12	0.17
31	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02
32	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.03	0.00	0.00	0.01
34	0.25	0.24	0.24	0.31	0.30	0.30	0.29	0.30	0.26	0.20	0.16	0.23
35	0.05	0.05	0.05	0.11	0.12	0.11	0.07	0.08	0.06	0.06	0.05	0.07
36	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
37	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
38	0.16	0.15	0.16	0.13	0.14	0.14	0.08	0.09	0.07	0.09	0.07	0.10
39	0.04	0.03	0.04	0.06	0.06	0.06	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04
40	0.04	0.04	0.04	0.07	0.08	0.07	0.09	0.09	0.07	0.04	0.03	0.05
41	0.10	0.09	0.09	0.13	0.14	0.14	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.06
42	0.08	0.08	0.08	0.29	0.29	0.29	0.28	0.27	0.29	0.15	0.12	0.17
43	0.07	0.06	0.06	0.11	0.12	0.12	0.11	0.12	0.09	0.04	0.03	0.05
44	0.19	0.18	0.19	0.19	0.21	0.20	0.19	0.20	0.16	0.20	0.16	0.22
45	0.23	0.22	0.23	0.27	0.29	0.28	0.27	0.28	0.23	0.12	0.09	0.14
46	0.05	0.05	0.05	0.19	0.21	0.20	0.13	0.13	0.10	0.14	0.11	0.16

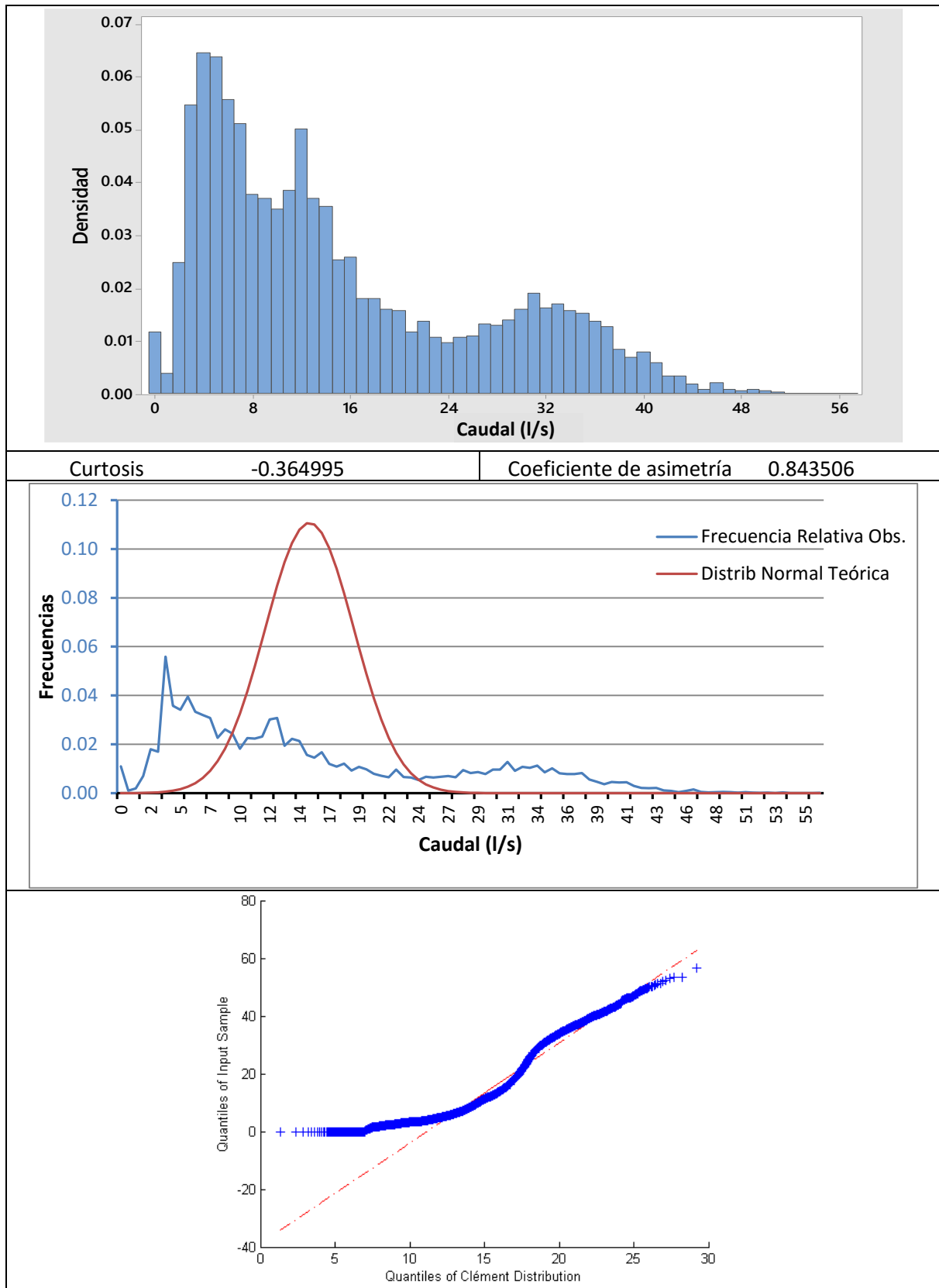
47	0.12	0.12	0.12	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.12	0.09	0.13
48	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
49	0.07	0.07	0.07	0.18	0.20	0.19	0.20	0.20	0.16	0.10	0.08	0.12
50	0.11	0.10	0.10	0.08	0.09	0.08	0.09	0.09	0.07	0.08	0.06	0.10
51	0.13	0.12	0.13	0.19	0.21	0.20	0.11	0.12	0.09	0.06	0.05	0.07
52	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00
53	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.04	0.09	0.09	0.07	0.07	0.05	0.08
54	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04
55	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.02	0.02	0.03
56	0.07	0.06	0.07	0.08	0.09	0.09	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03	0.04
57	0.06	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.05	0.06	0.04	0.07
58	0.13	0.12	0.13	0.13	0.15	0.14	0.13	0.13	0.10	0.04	0.03	0.05
59	0.11	0.11	0.11	0.09	0.10	0.09	0.12	0.12	0.09	0.11	0.09	0.12
60	0.03	0.03	0.03	0.08	0.09	0.09	0.13	0.14	0.11	0.04	0.03	0.05
61	0.15	0.14	0.15	0.15	0.16	0.15	0.18	0.18	0.15	0.13	0.10	0.14
62	0.19	0.19	0.19	0.18	0.19	0.18	0.19	0.19	0.17	0.11	0.09	0.13
63	0.10	0.10	0.10	0.16	0.18	0.17	0.11	0.12	0.09	0.08	0.06	0.10
64	0.05	0.05	0.05	0.28	0.26	0.28	0.28	0.28	0.27	0.13	0.10	0.15
65	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00
66	0.07	0.07	0.07	0.09	0.10	0.10	0.08	0.09	0.07	0.06	0.04	0.06
67	0.05	0.05	0.05	0.09	0.10	0.09	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03
68	0.11	0.11	0.11	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.17	0.15	0.12	0.17
69	0.16	0.16	0.16	0.17	0.18	0.18	0.13	0.14	0.11	0.10	0.08	0.12
70	0.14	0.13	0.14	0.05	0.05	0.05	0.12	0.12	0.10	0.07	0.05	0.08
71	0.11	0.10	0.11	0.08	0.09	0.09	0.07	0.08	0.06	0.05	0.04	0.06
72	0.06	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.04	0.03	0.04
73	0.05	0.05	0.05	0.07	0.08	0.07	0.03	0.03	0.02	0.05	0.04	0.06
74	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
76	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.07	0.08	0.06	0.02	0.01	0.02
77	0.14	0.13	0.13	0.10	0.11	0.11	0.06	0.06	0.05	0.11	0.09	0.13
78	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02
79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
82	0.13	0.13	0.13	0.14	0.16	0.15	0.19	0.20	0.16	0.13	0.11	0.15
83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
84	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	0.02	0.02	0.02	0.13	0.14	0.14	0.10	0.11	0.08	0.04	0.03	0.05
86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
88	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.07	0.05	0.08
91	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
92	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
93	0.21	0.20	0.21	0.26	0.27	0.27	0.25	0.25	0.21	0.10	0.08	0.12
94	0.20	0.19	0.20	0.37	0.39	0.38	0.30	0.31	0.24	0.16	0.12	0.18
95	0.18	0.17	0.18	0.23	0.25	0.24	0.27	0.27	0.22	0.13	0.10	0.15
96	0.21	0.20	0.21	0.14	0.16	0.15	0.31	0.31	0.28	0.23	0.19	0.26
97	0.21	0.20	0.21	0.24	0.26	0.25	0.23	0.24	0.20	0.17	0.14	0.20
98	0.16	0.16	0.16	0.20	0.21	0.20	0.21	0.21	0.18	0.17	0.14	0.19
99	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.04	0.03	0.04
100	0.26	0.25	0.26	0.01	0.02	0.02	0.40	0.40	0.35	0.22	0.17	0.25
101	0.14	0.13	0.14	0.05	0.05	0.05	0.16	0.16	0.13	0.08	0.06	0.09
102	0.40	0.39	0.40	0.11	0.13	0.12	0.41	0.42	0.35	0.25	0.20	0.28
103	0.17	0.16	0.17	0.18	0.19	0.18	0.19	0.19	0.16	0.07	0.06	0.08
104	0.03	0.03	0.03	0.12	0.13	0.12	0.07	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00
105	0.24	0.23	0.23	0.28	0.29	0.28	0.30	0.29	0.29	0.15	0.12	0.18
106	0.55	0.54	0.55	0.54	0.47	0.51	0.23	0.24	0.18	0.07	0.06	0.09
107	0.15	0.14	0.15	0.14	0.15	0.15	0.16	0.16	0.13	0.07	0.05	0.08
108	0.07	0.06	0.07	0.10	0.11	0.10	0.07	0.08	0.06	0.03	0.02	0.04
109	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00

110	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
111	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
112	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
113	0.12	0.11	0.12	0.13	0.14	0.14	0.13	0.13	0.10	0.09	0.07	0.10
114	0.00	0.00	0.00	0.05	0.06	0.06	0.13	0.13	0.11	0.06	0.05	0.07
115	0.09	0.08	0.08	0.09	0.10	0.09	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05
116	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05
117	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.05
118	0.25	0.24	0.25	0.29	0.30	0.29	0.30	0.30	0.26	0.11	0.08	0.13
119	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
121	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
122	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
123	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
124	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
125	0.11	0.10	0.11	0.13	0.15	0.14	0.19	0.19	0.15	0.05	0.04	0.05
126	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03
127	0.07	0.06	0.07	0.07	0.08	0.07	0.05	0.05	0.04	0.06	0.05	0.07
128	0.28	0.27	0.28	0.30	0.31	0.31	0.19	0.20	0.16	0.05	0.04	0.06
129	0.12	0.11	0.12	0.13	0.15	0.14	0.20	0.21	0.16	0.09	0.07	0.10
130	0.14	0.13	0.14	0.21	0.22	0.22	0.18	0.19	0.15	0.02	0.02	0.03
131	0.07	0.06	0.07	0.06	0.07	0.07	0.13	0.13	0.11	0.09	0.07	0.10
132	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.04	0.02	0.02	0.02	0.06	0.05	0.07
133	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
134	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.04
135	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.05
136	0.11	0.10	0.11	0.09	0.10	0.09	0.05	0.06	0.04	0.08	0.06	0.09
137	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
138	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
139	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01
140	1.46	1.37	1.44	4.53	4.78	4.66	4.97	4.94	4.78	2.91	2.32	3.32
141	0.05	0.04	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
142	0.08	0.07	0.08	0.14	0.15	0.14	0.08	0.09	0.07	0.05	0.04	0.06
143	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$\Sigma\sigma^2$	12.99	12.31	12.89	18.64	19.82	19.23	19.28	19.53	16.75	11.45	9.00	13.15

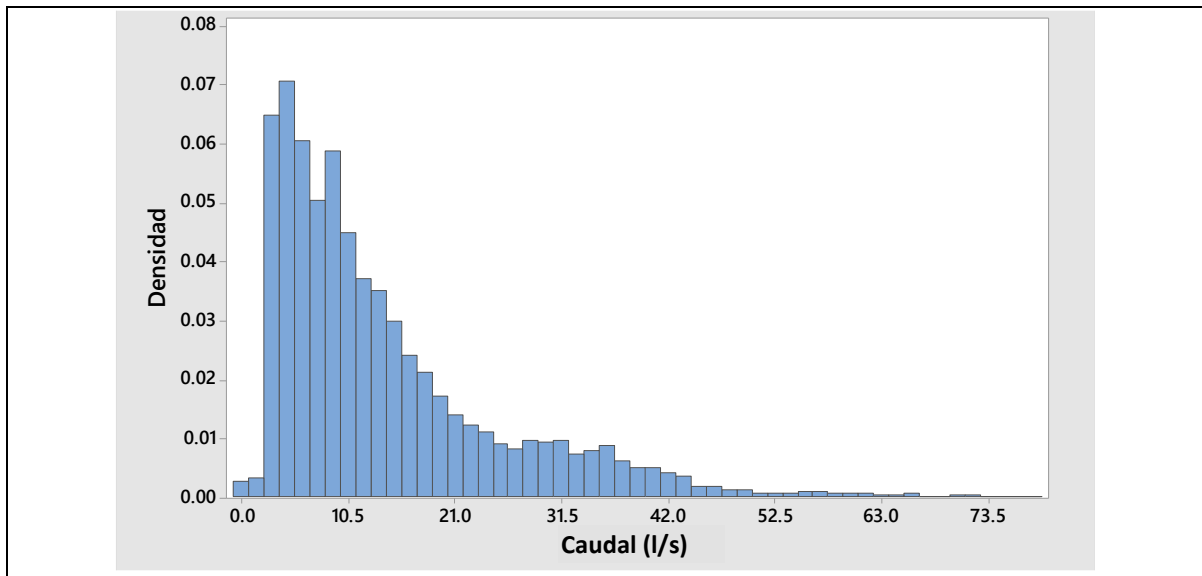
ANEXO 4: PRUEBAS GRÁFICAS

Anexo 4 - Pruebas Gráficas: Histograma de frecuencias caudales mensuales observados – Ajuste a distribuciones normales de Clément – Q-Q plots

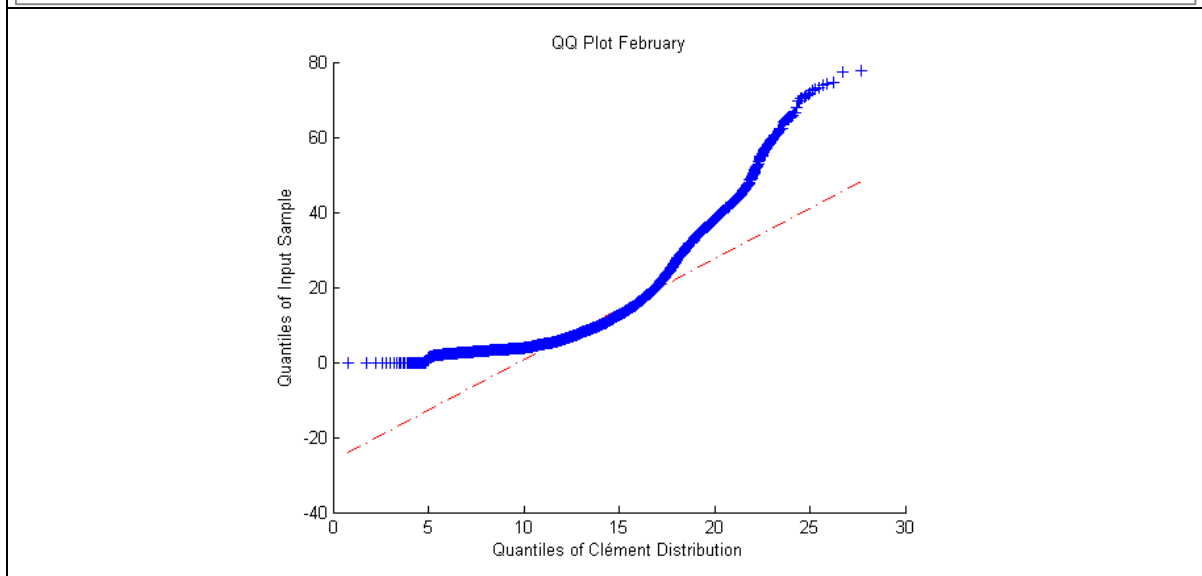
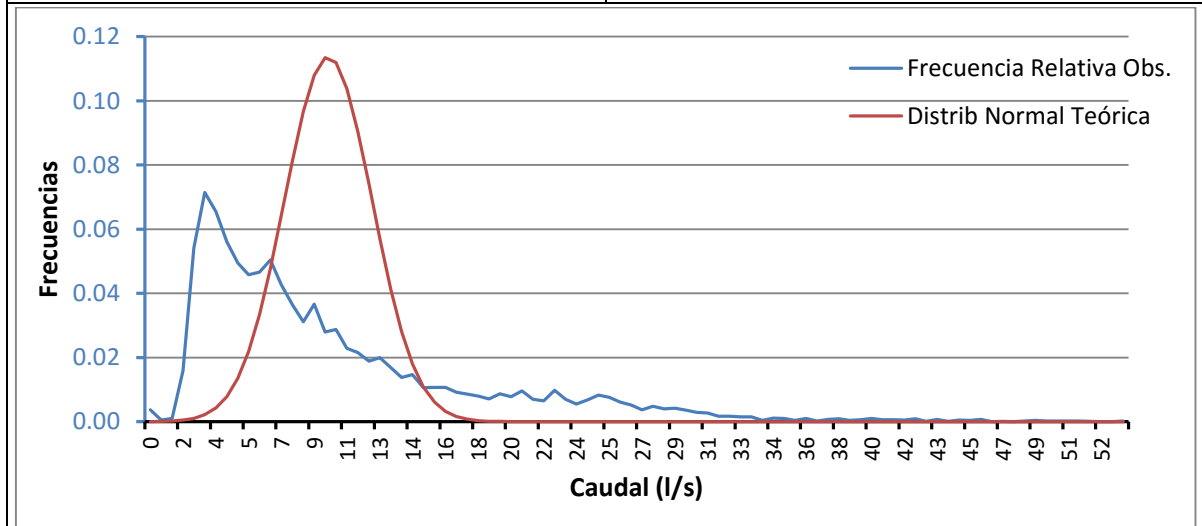
ENERO



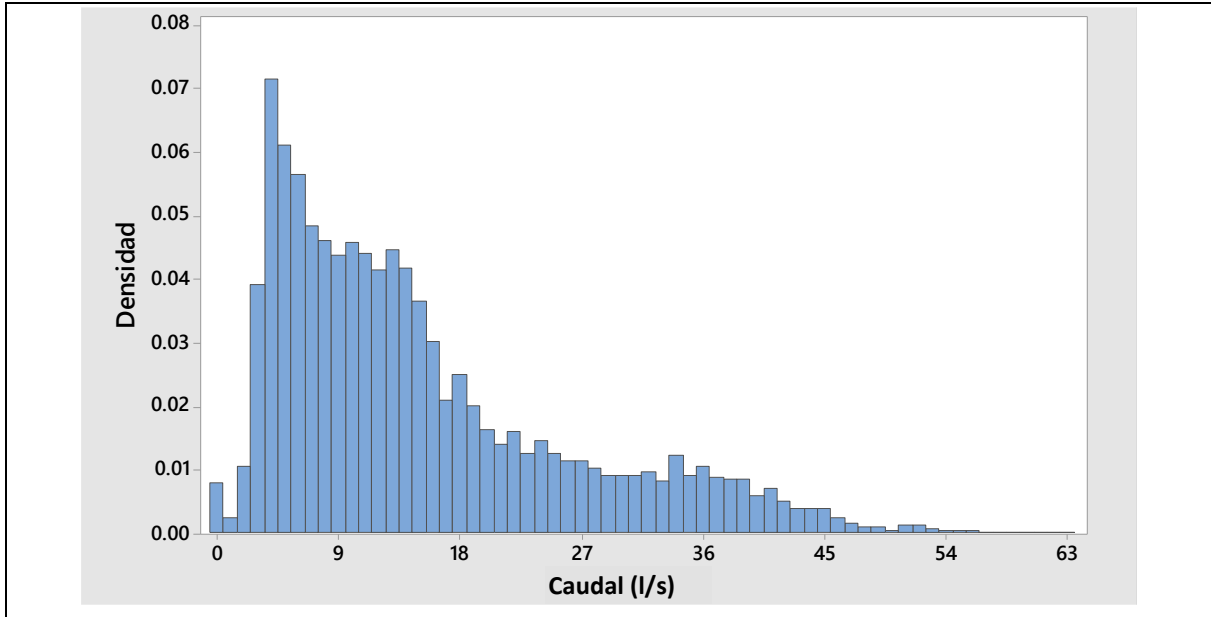
FEBRERO



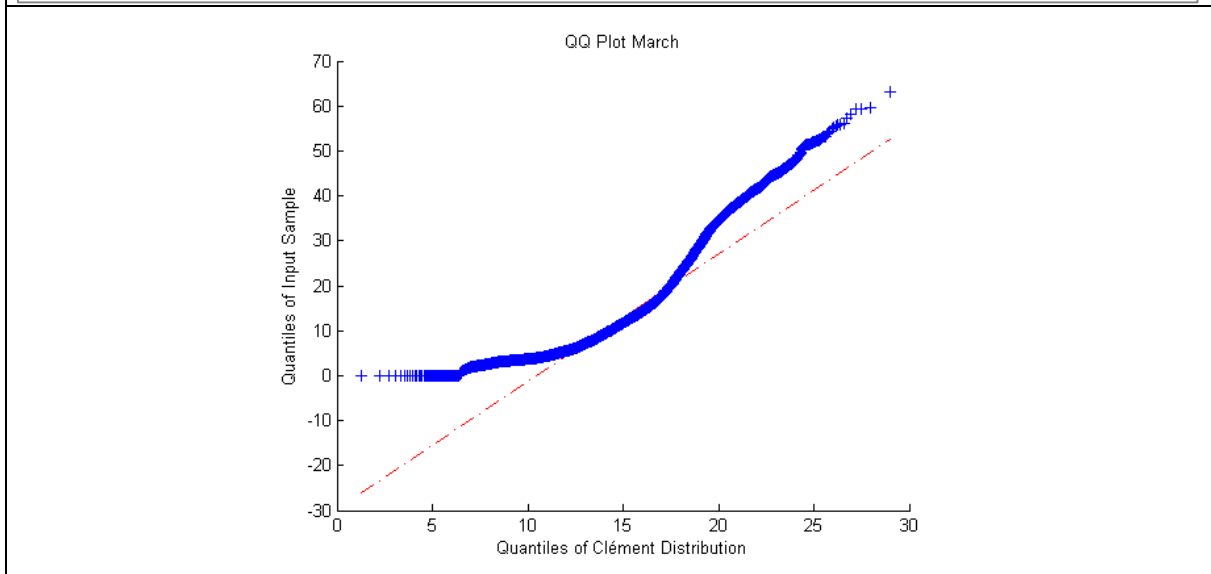
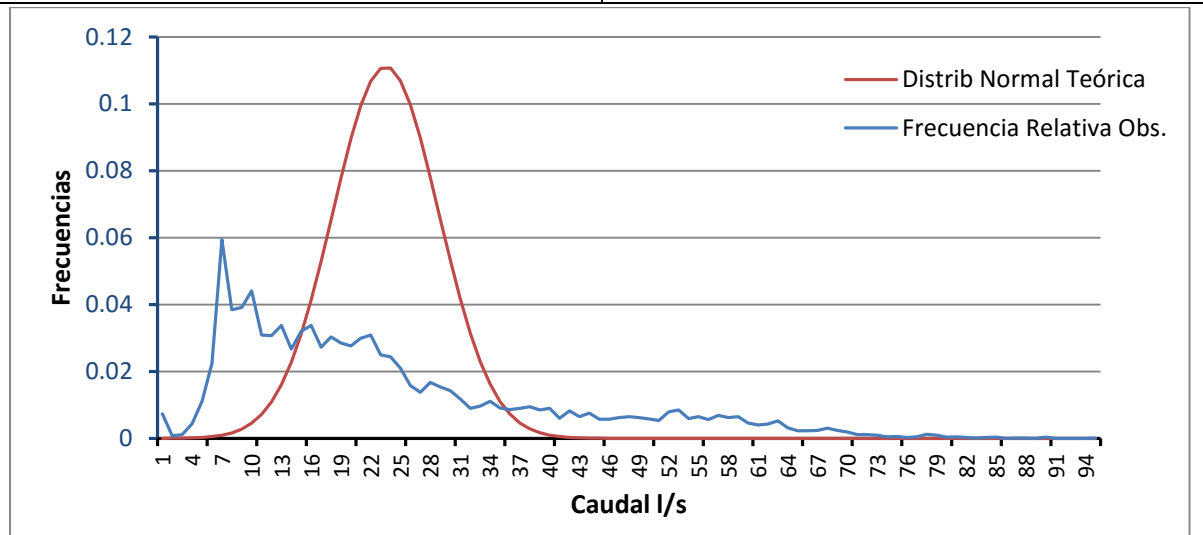
Curtosis	2.970271	Coefficiente de asimetría	1.631411
----------	----------	---------------------------	----------



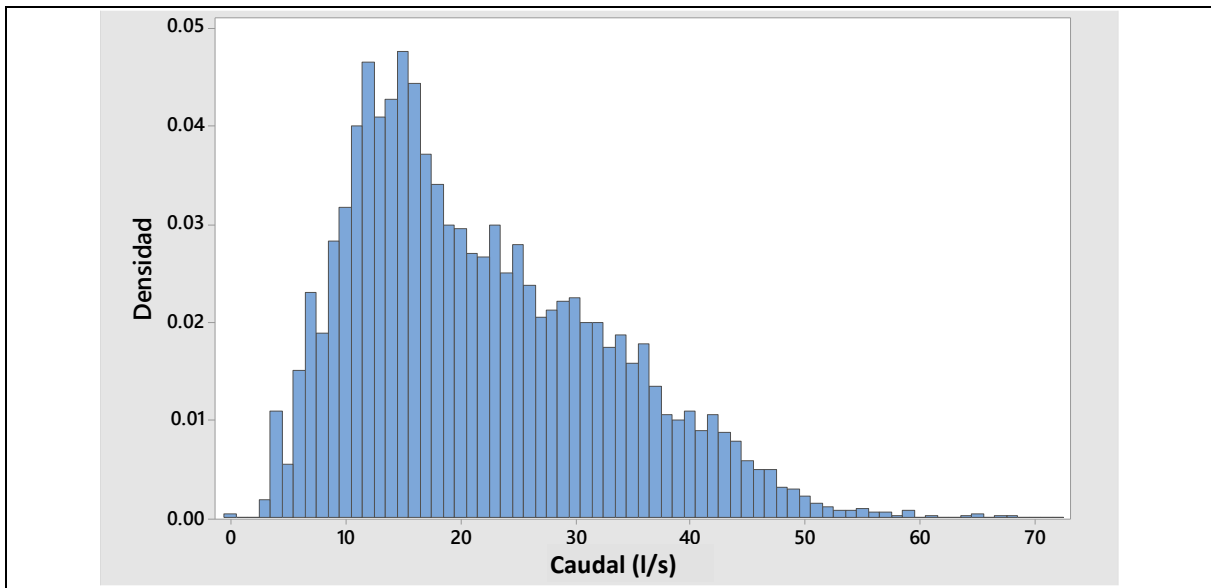
MARZO



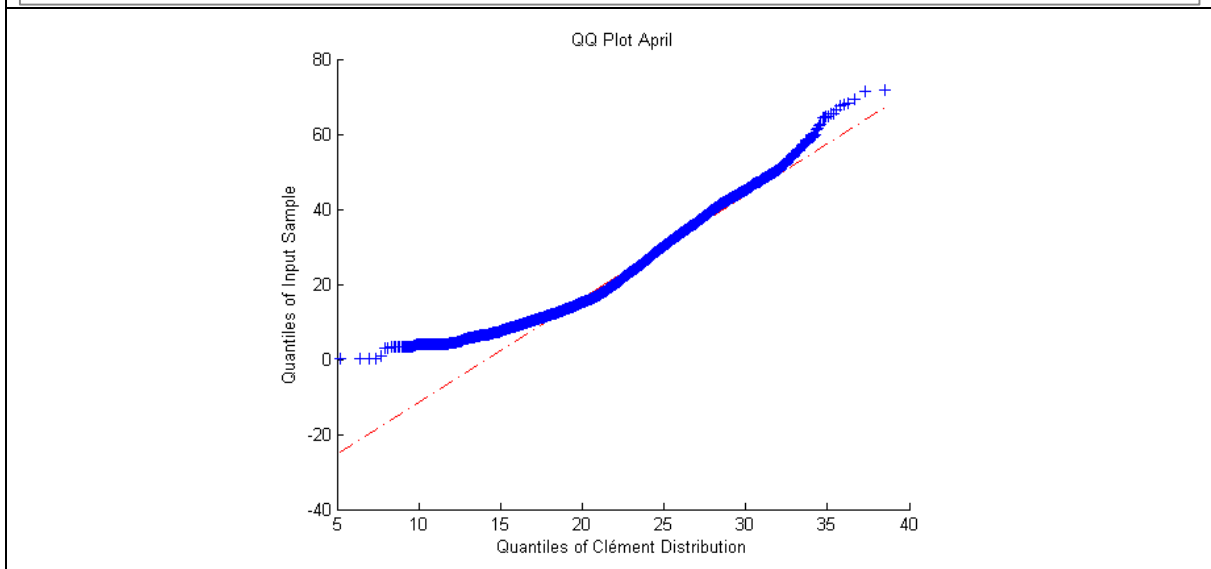
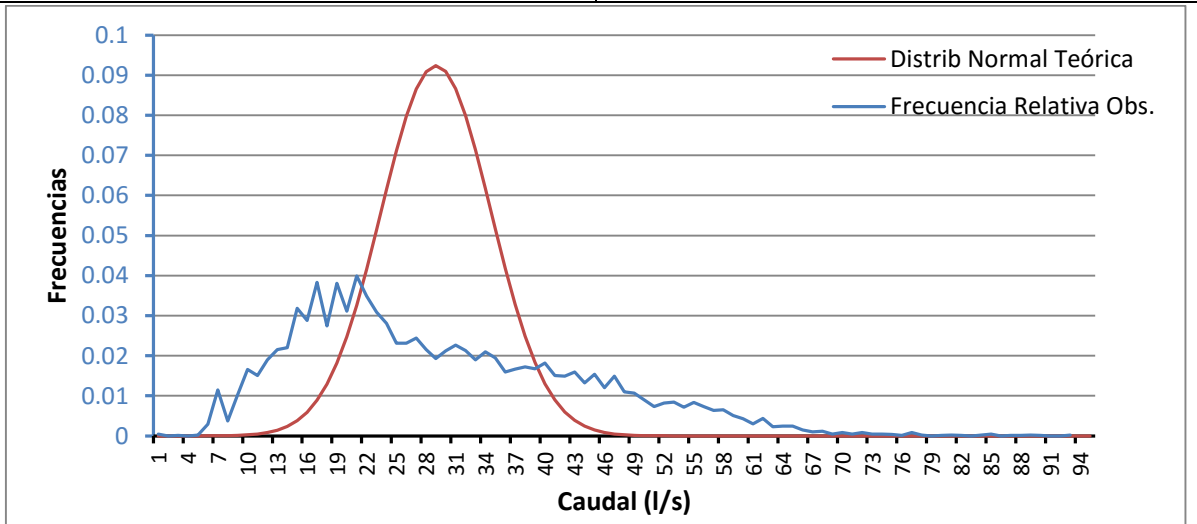
Curtosis **0.617509** Coeficiente de asimetría **1.130815**



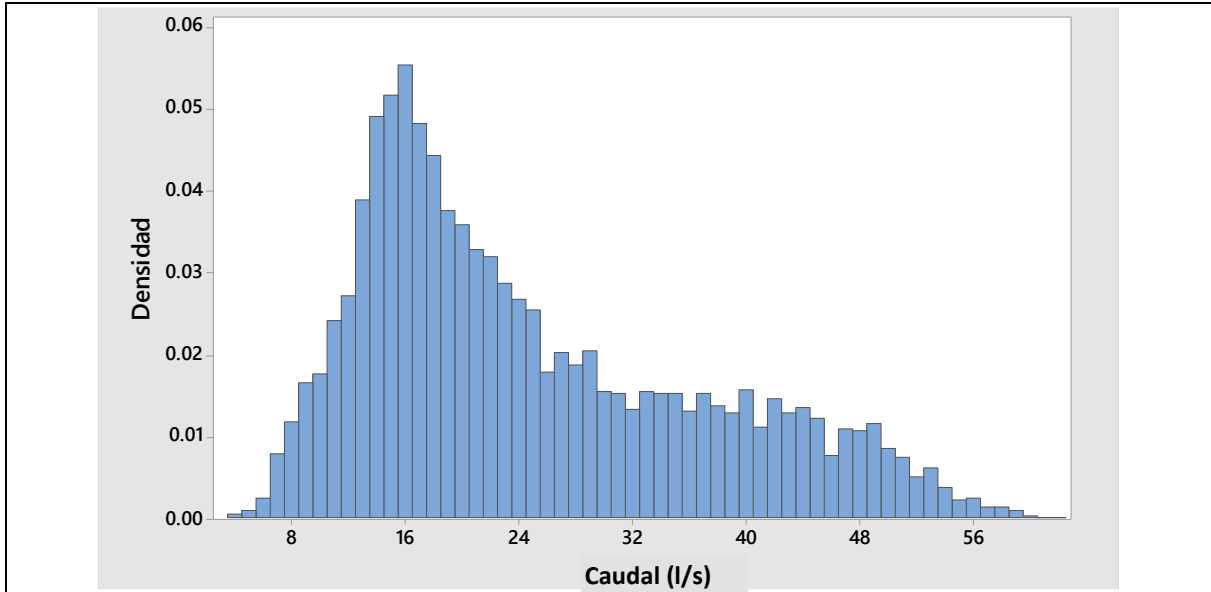
ABRIL



Curtosis	0.073099	Coefficiente de asimetría	0.721578
----------	----------	---------------------------	----------

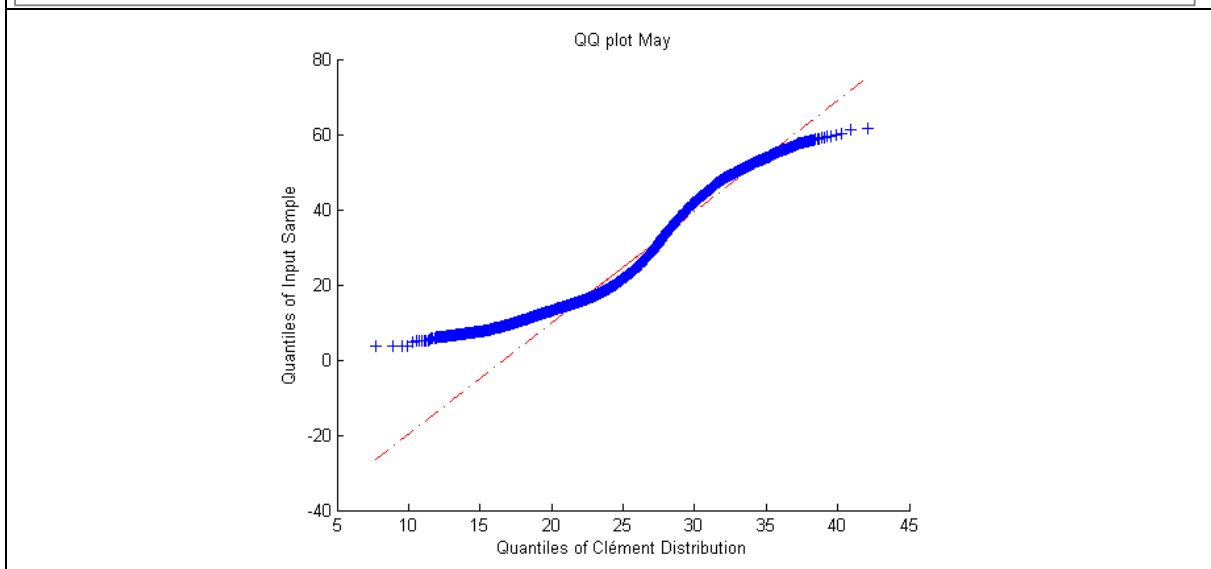
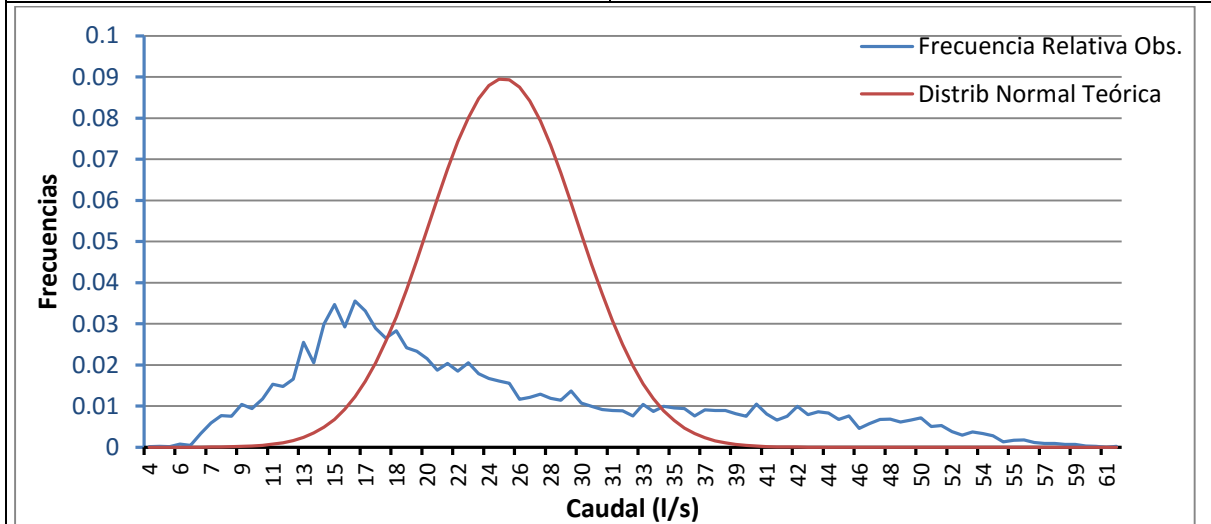


MAYO

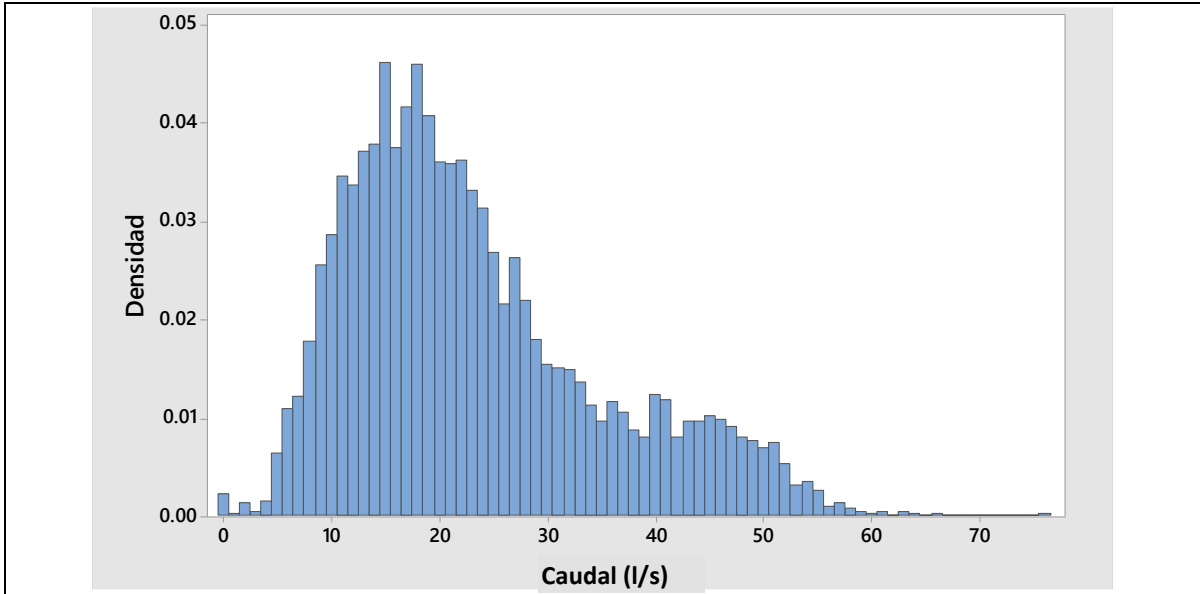


Curtosis -0.424260

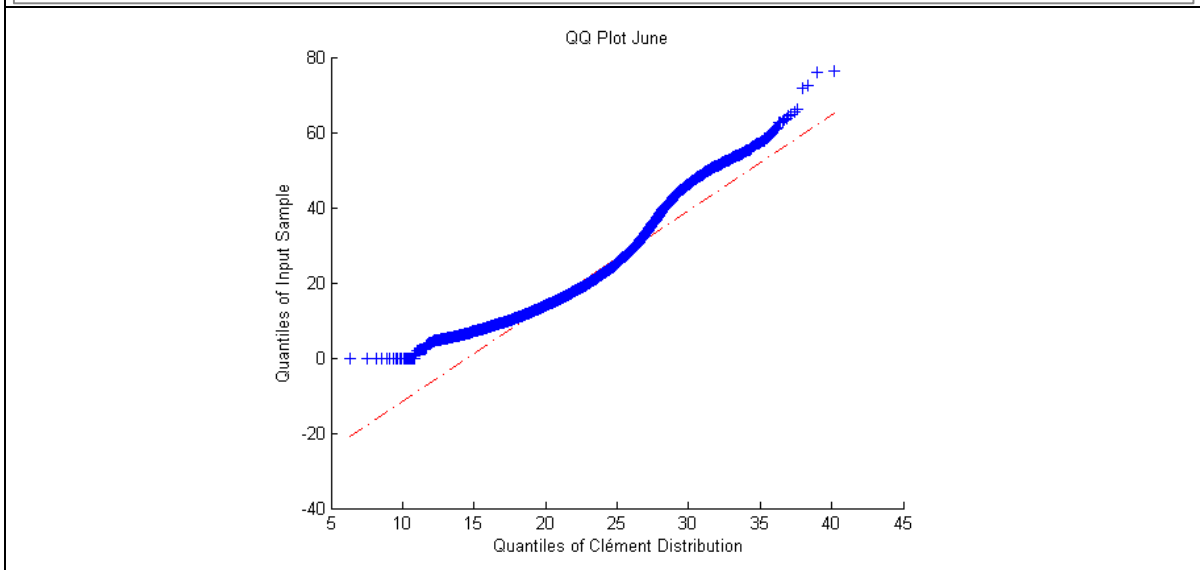
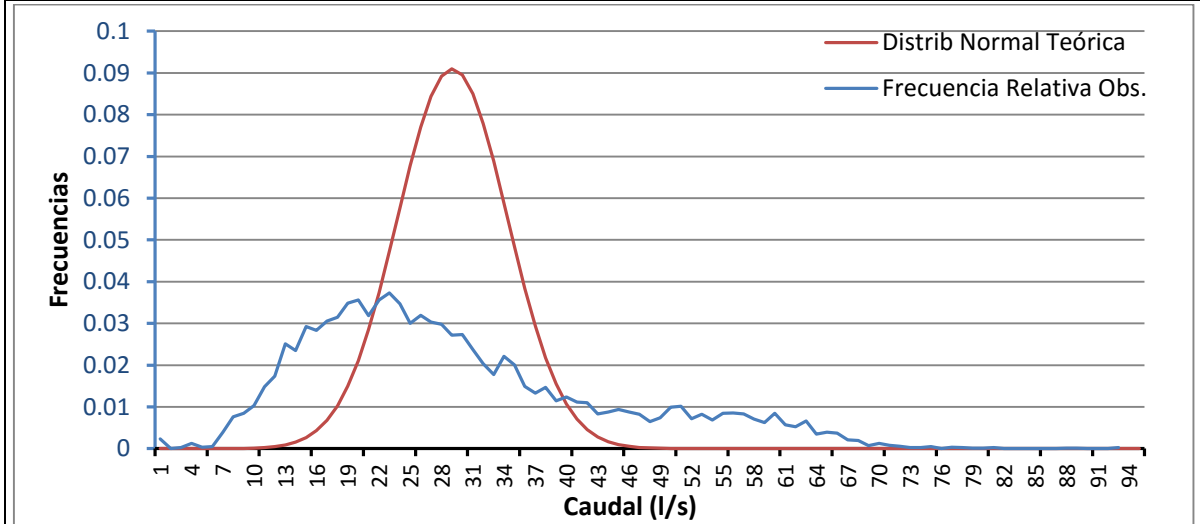
Coefficiente de asimetría 0.748073



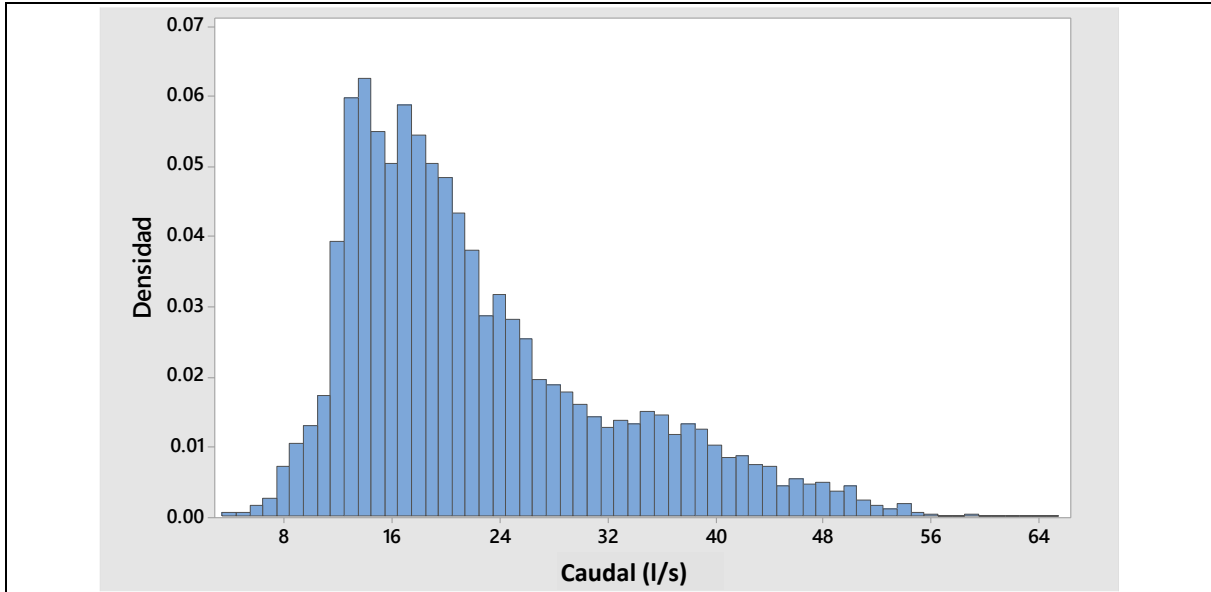
JUNIO



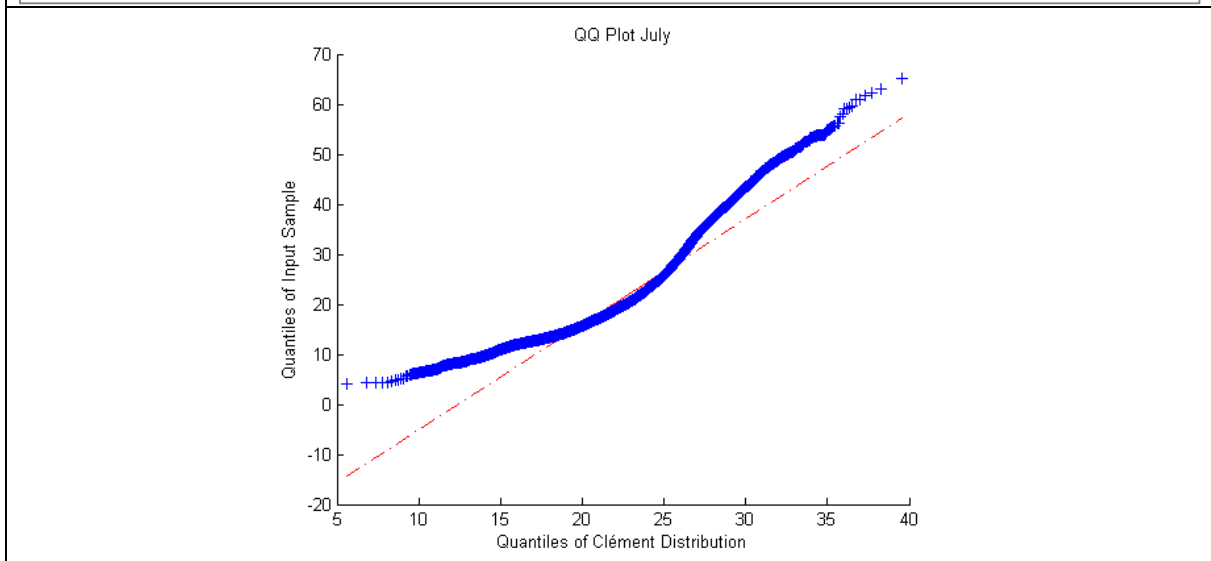
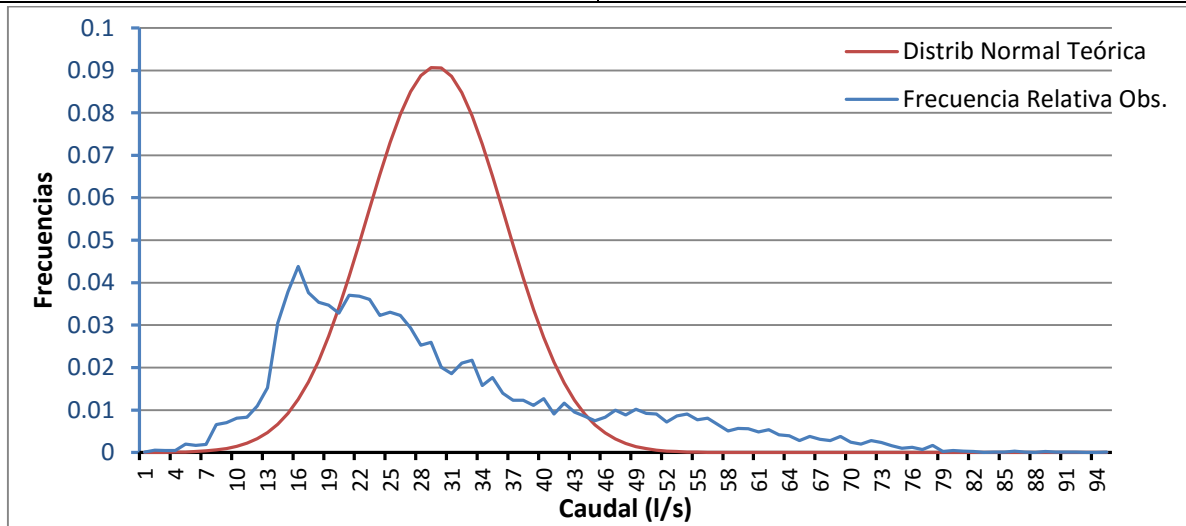
Curtosis	0.145922	Coefficiente de asimetría	0.855669
----------	----------	---------------------------	----------



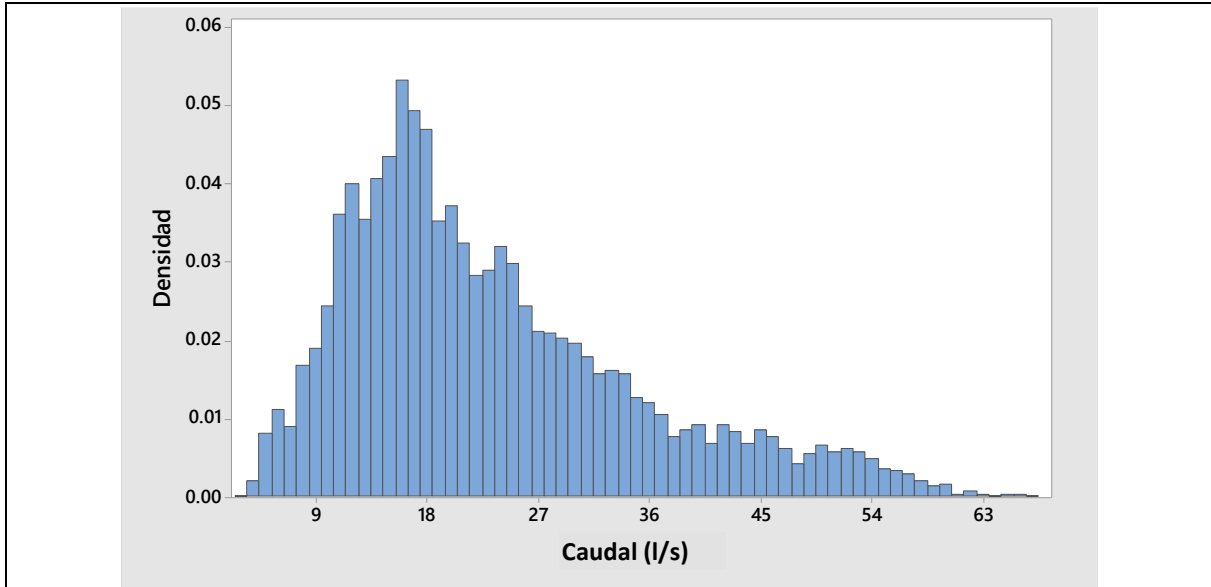
JULIO



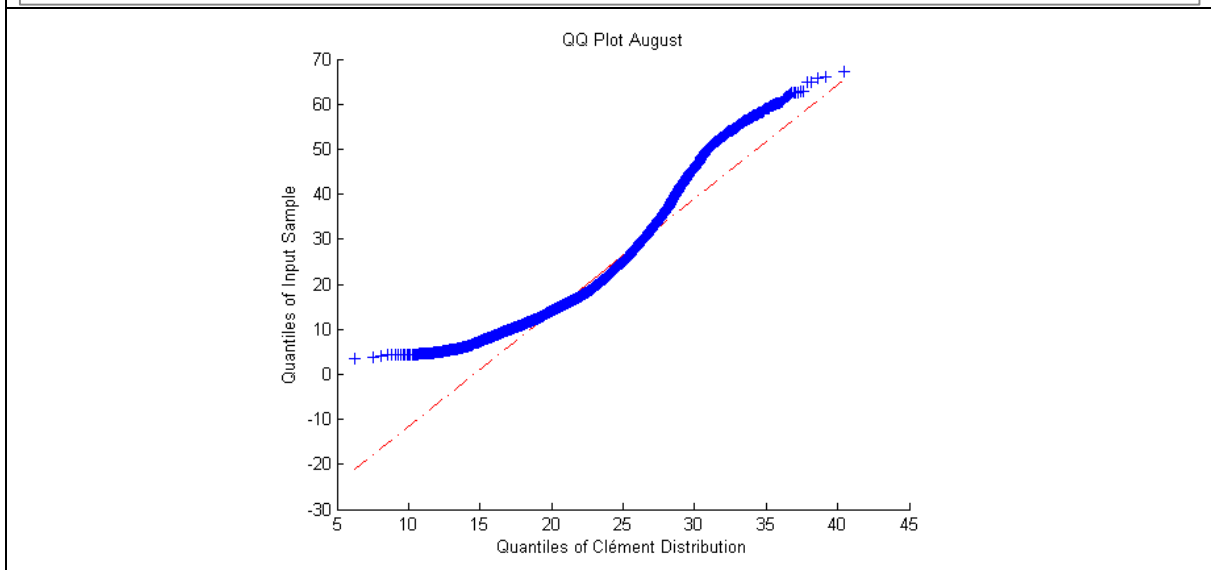
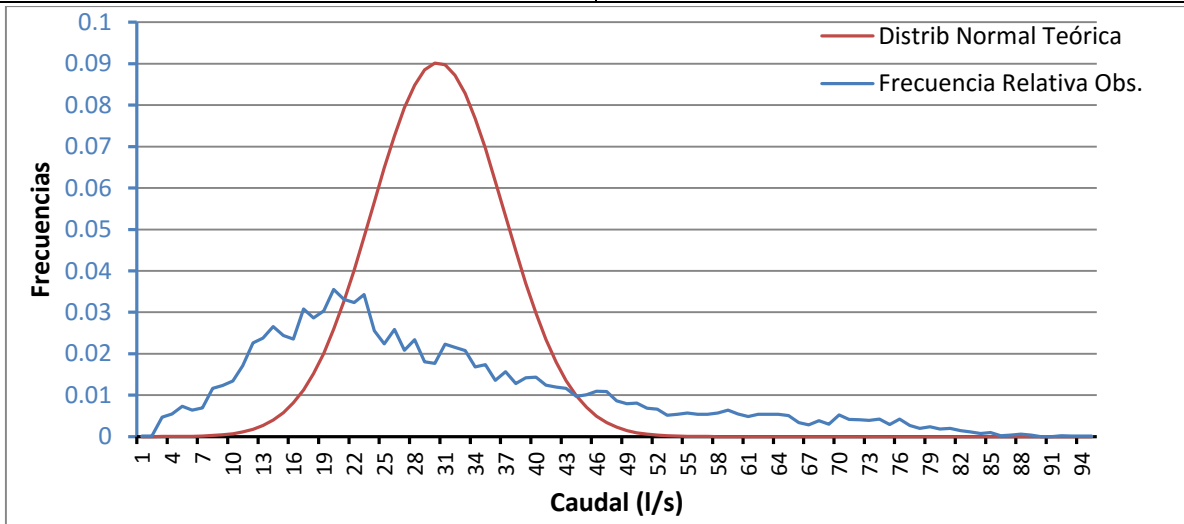
Curtosis	0.515263	Coefficiente de asimetría	1.028082
----------	----------	---------------------------	----------



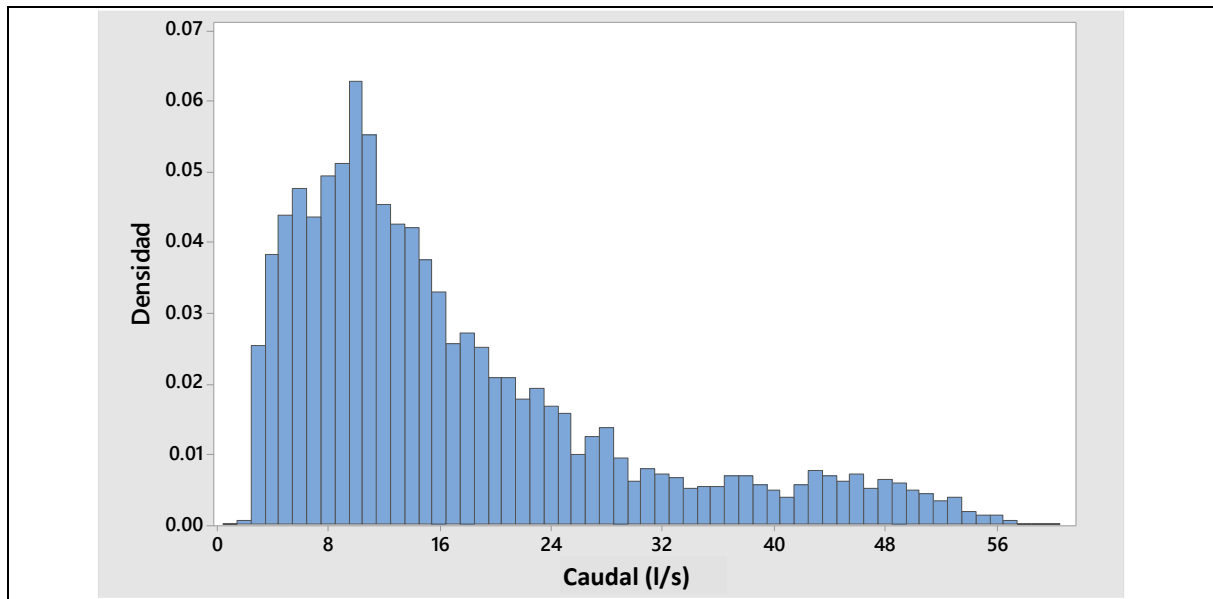
AGOSTO



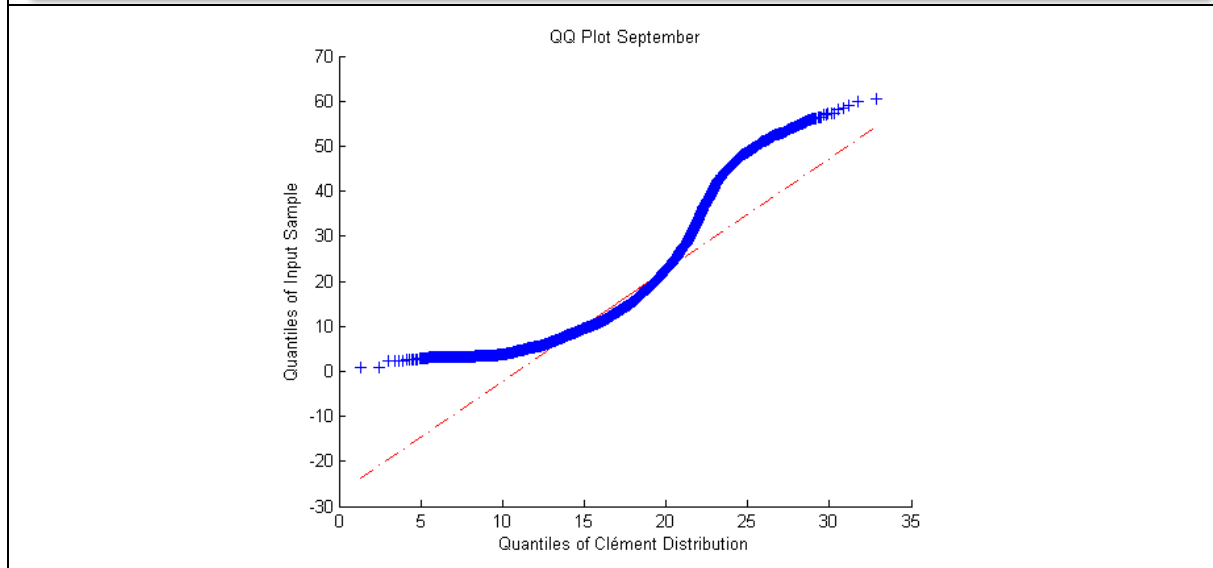
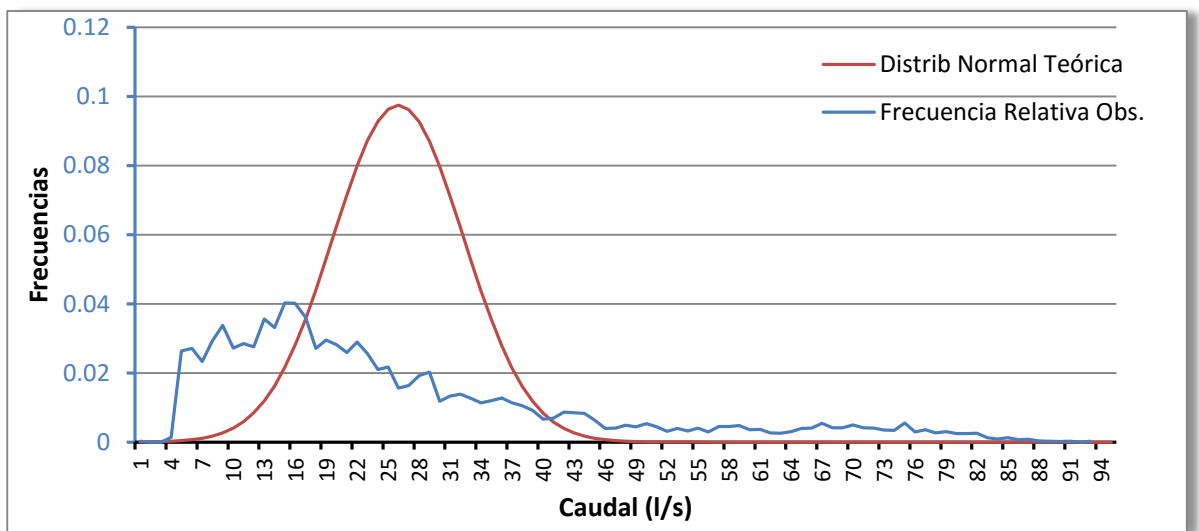
Curtosis	0.384923	Coefficiente de asimetría	0.959807
----------	----------	---------------------------	----------



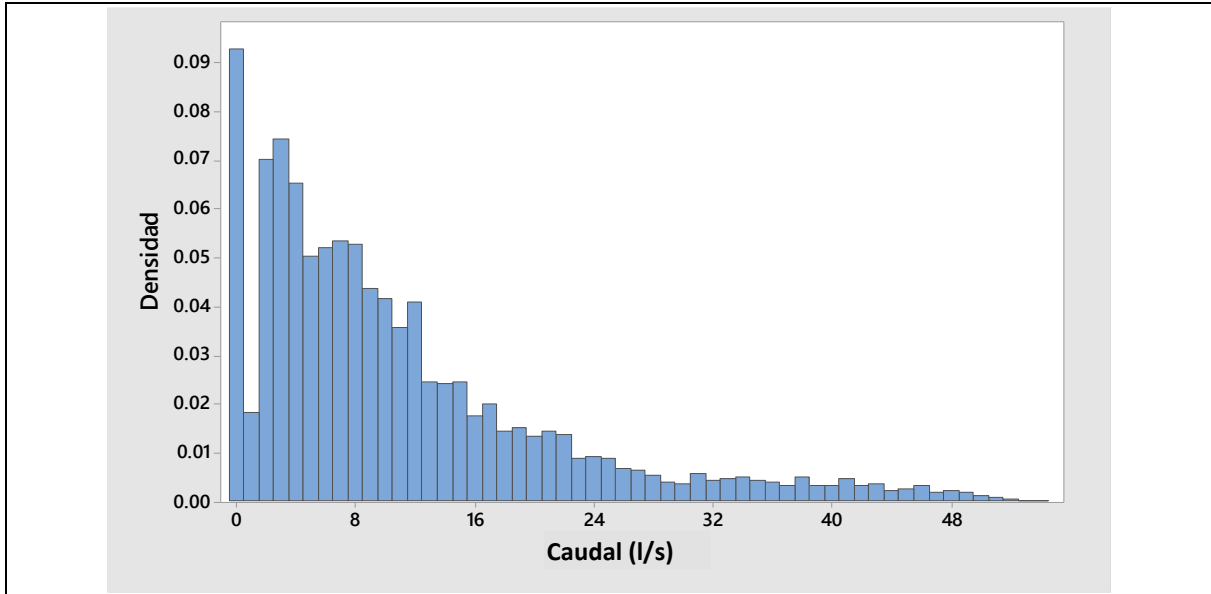
SEPTIEMBRE



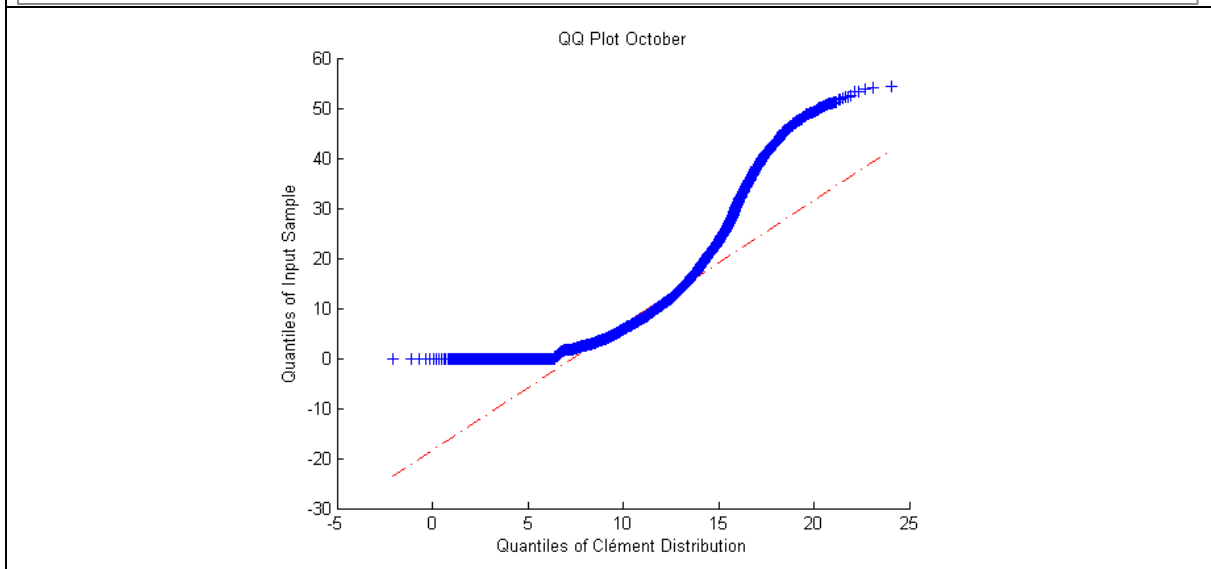
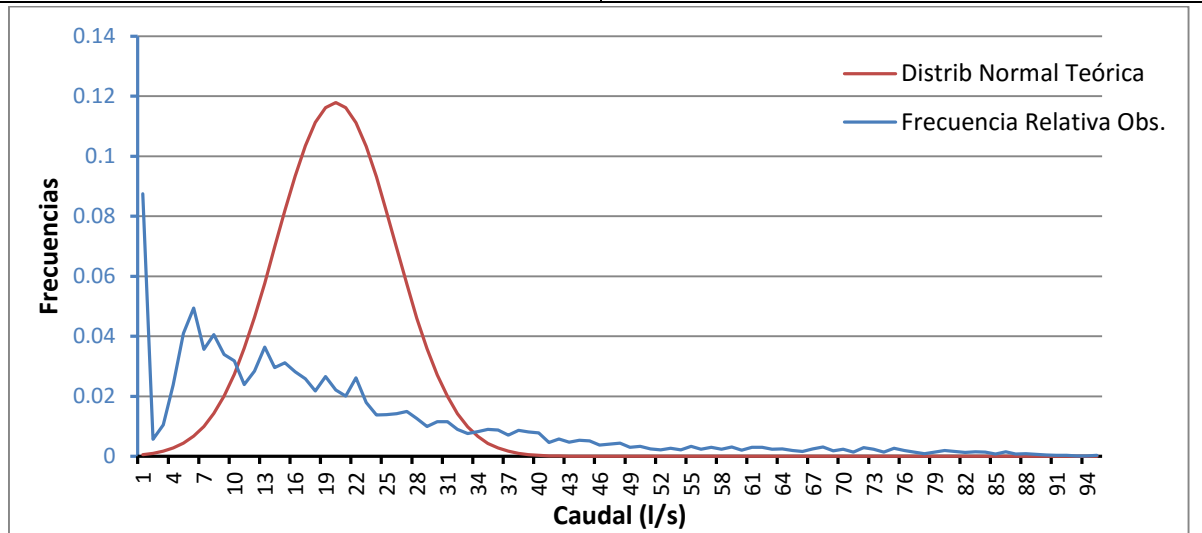
Curtosis	0.991955	Coefficiente de asimetría	1.287237
----------	----------	---------------------------	----------



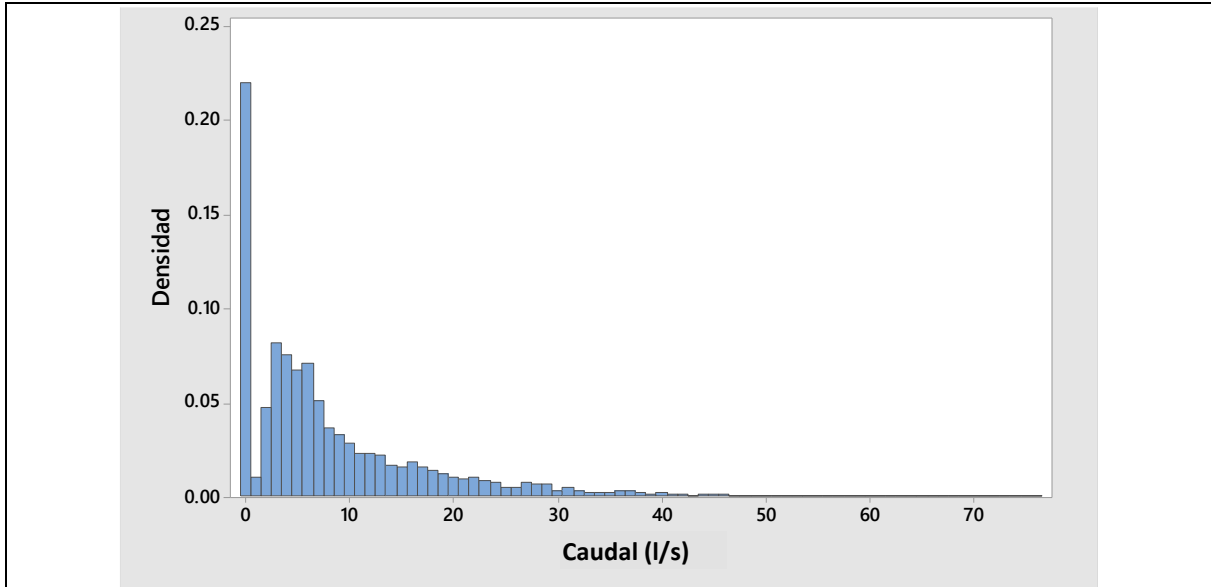
OCTUBRE



Curtosis	2.217362	Coefficiente de asimetría	1.547646
----------	----------	---------------------------	----------

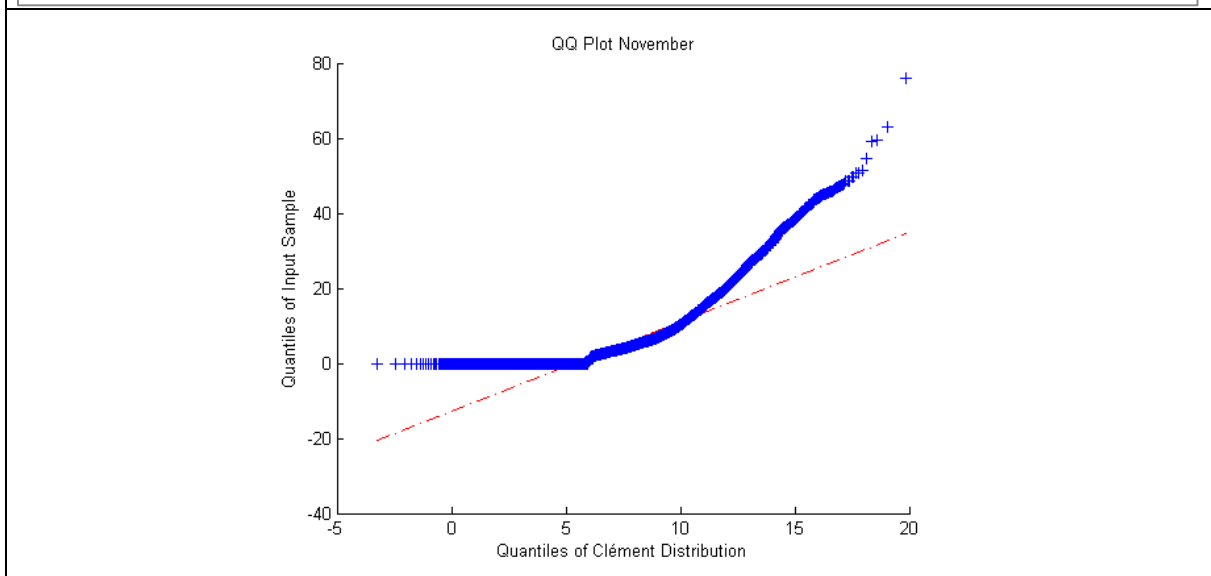
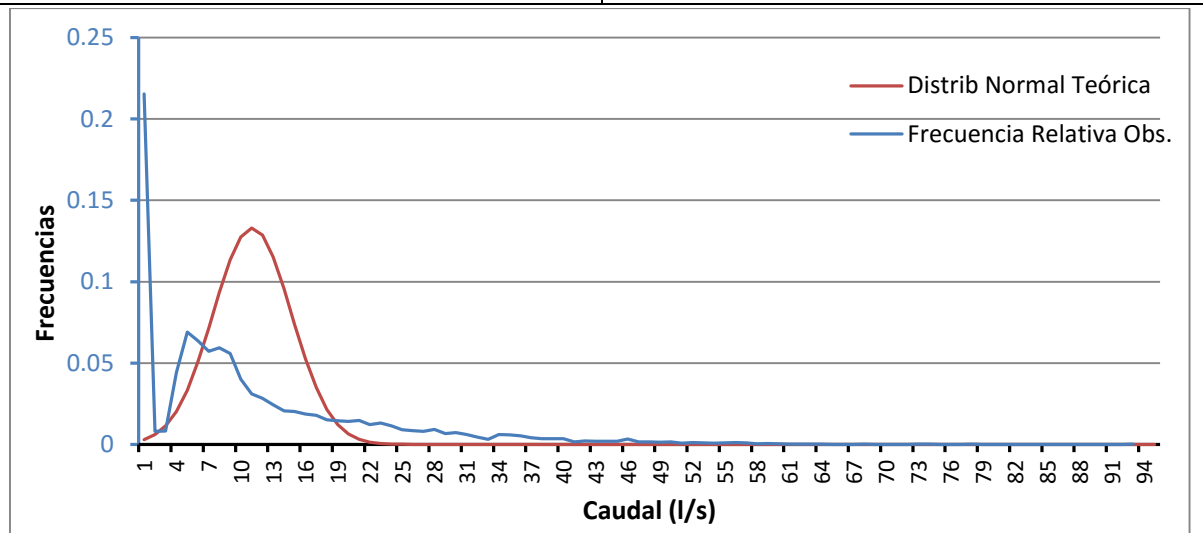


NOVIEMBRE

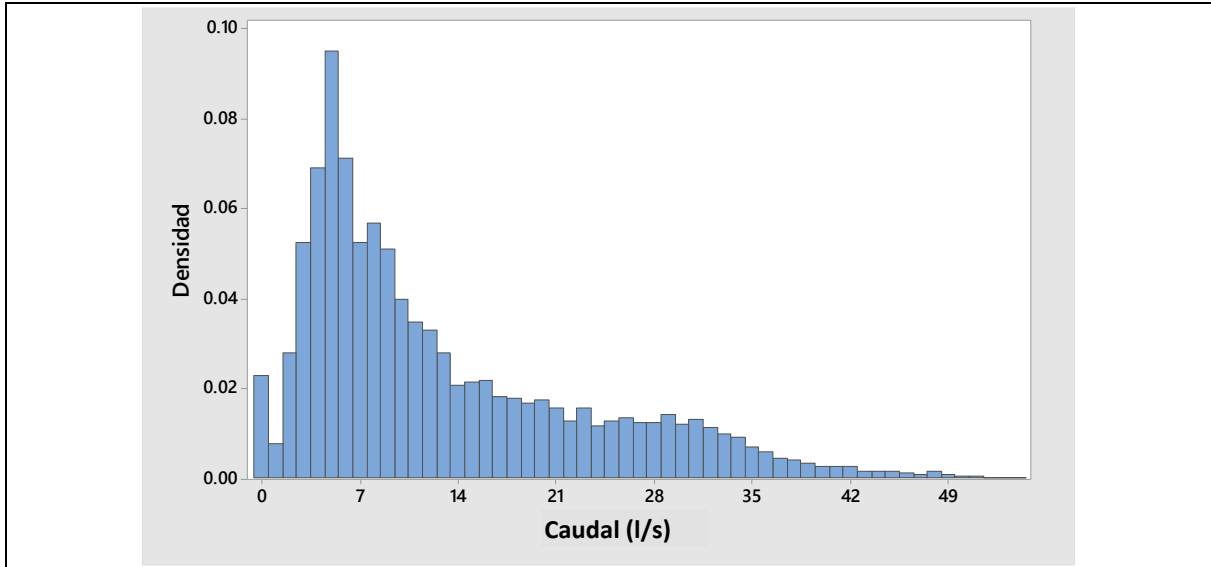


Curtosis 3.276471

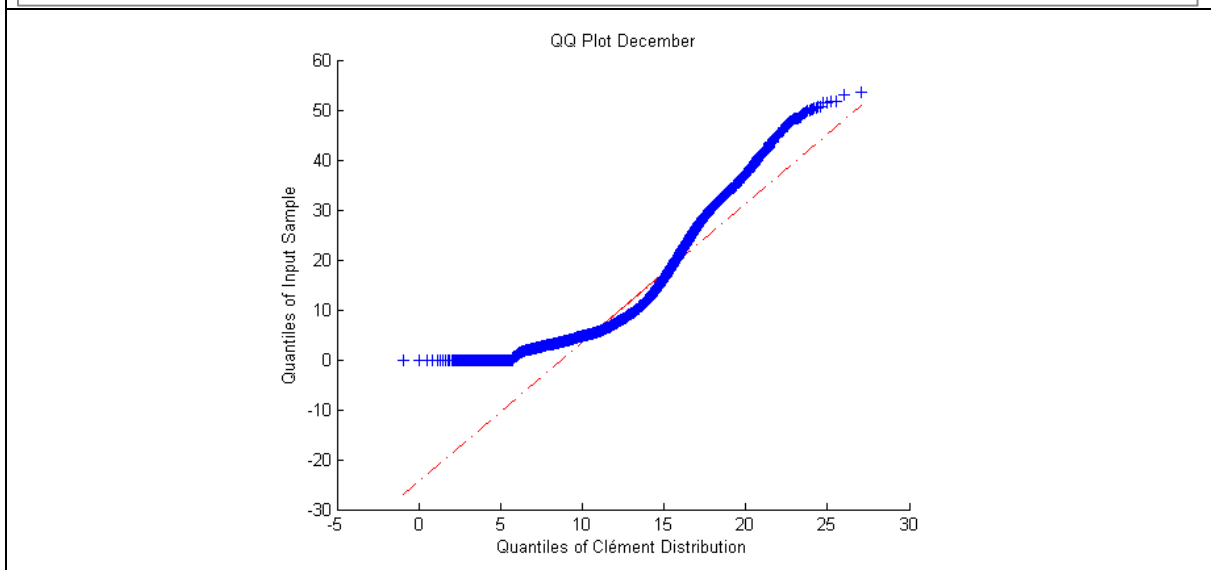
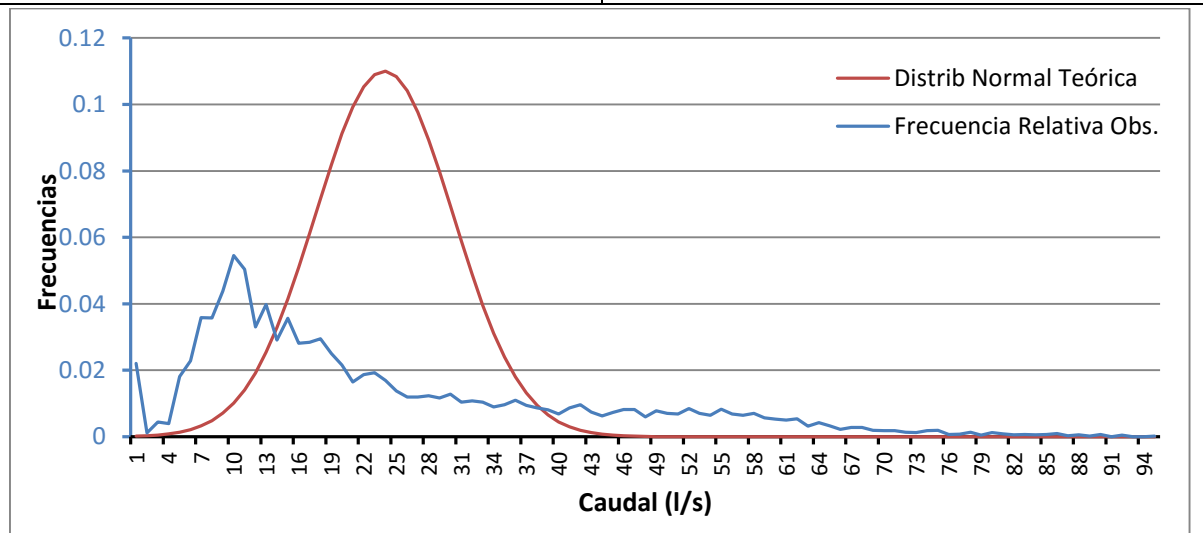
Coefficiente de asimetría 1.702250



DICIEMBRE



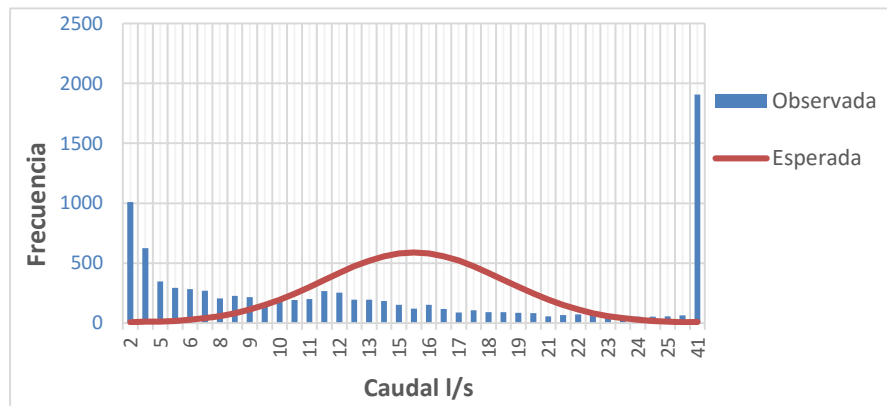
Curtosis	0.555188	Coefficiente de asimetría	1.127543
----------	----------	---------------------------	----------



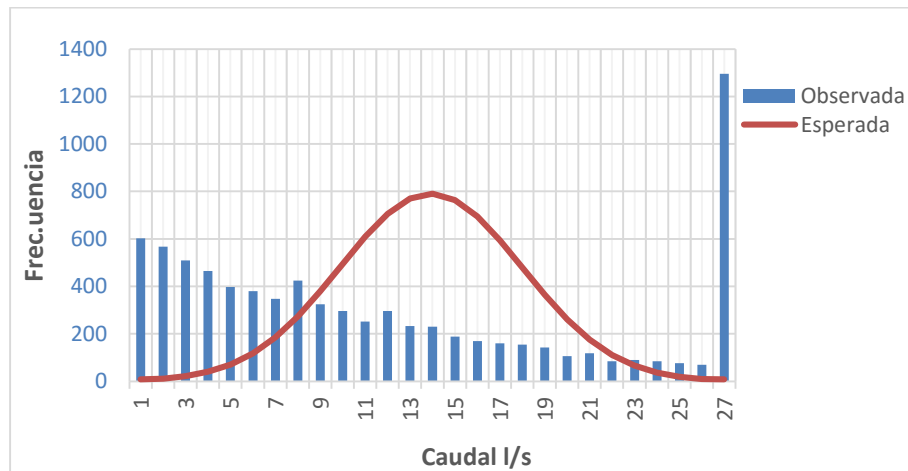
ANEXO 5: PRUEBA CHI-CUADRADO Y TEST G

Anexo 5 - Prueba Chi-cuadrado y Test G (Razón de Verosimilitud) - Tablas de Cálculos – Graficas comparación

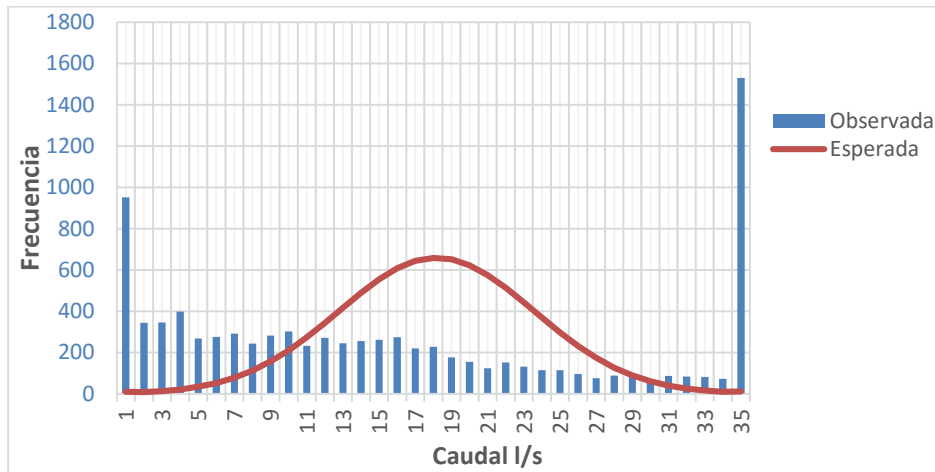
ENERO											TEST G		
PRUEBA CHI CUADRADO			MARCA DE CLASE	FO _i Frec. Observada	Distr. Normal Acum.		Area lim sup- lim inf	FE _i Frec. Esperada	FO _i -FE _i	(FO _i -FE _i) ² / FE _i	ln FO _i /FE _i	FO _i *(ln (FO _i /FE _i))	
N° Intervalo	INTERVALOS LIM INF	LIM SUP			lim Inf	lim Sup							
1.00	0.00	3.63	1.81	1009.00	0.00001	0.00061	0.00060	5.351	1003.65	188238.16	5.24	5286.54	
2.00	3.63	4.84	4.24	626.00	0.00061	0.00188	0.00127	11.347	614.65	33296.08	4.01	2510.53	
3.00	4.84	5.44	5.14	346.00	0.00188	0.00315	0.00127	11.313	334.69	9901.51	3.42	1183.49	
4.00	5.44	6.04	5.74	295.00	0.00315	0.00514	0.00199	17.761	277.24	4327.43	2.81	828.93	
...	
22.00	16.18	16.77	16.47	117.00	0.59753	0.66000	0.06247	557.692	-440.69	348.24	-1.56	-182.71	
23.00	16.77	17.37	17.07	88.00	0.66000	0.71835	0.05835	520.976	-432.98	359.84	-1.78	-156.50	
24.00	17.37	17.97	17.67	106.00	0.71835	0.77139	0.05304	473.560	-367.56	285.29	-1.50	-158.66	
25.00	17.97	18.56	18.26	90.00	0.77139	0.81831	0.04691	418.855	-328.86	258.19	-1.54	-138.39	
...	
36.00	24.53	25.12	24.83	53.00	0.99482	0.99683	0.00200	17.882	35.12	68.97	1.09	57.59	
37.00	25.12	25.72	25.42	55.00	0.99683	0.99810	0.00128	11.394	43.61	166.88	1.57	86.58	
38.00	25.72	26.32	26.02	65.00	0.99810	0.99889	0.00079	7.065	57.94	475.09	2.22	144.25	
39.00	26.32	56.67	41.49	1907.00	0.99889	1.00000	0.00112	9.969	1897.03	360983.90	5.25	10018.97	
										X ²	605597.94	SUMA	19374.80
										α	0.05	G	38749.60
										k	39.00	G Ajustado	36208.64
										GdL	38.00	X ² Crítico	53.38
										X ² Crítico	53.38	H0	Se Rechaza H0
										H0	Se Rechaza H0		



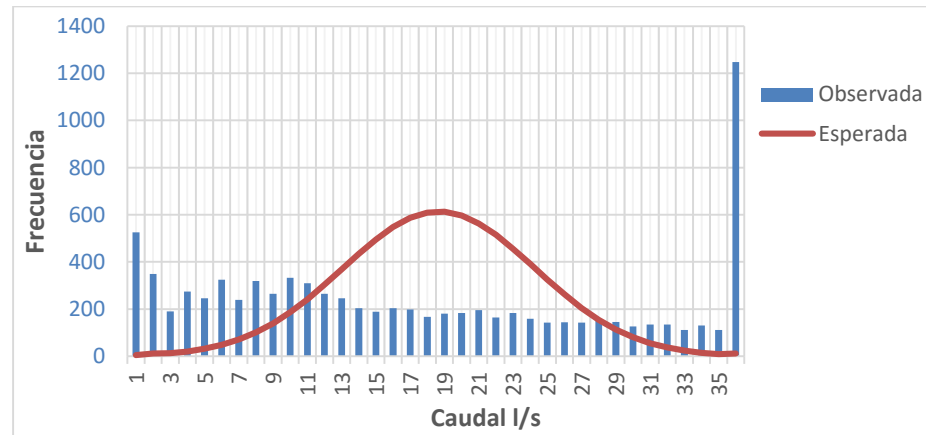
PRUEBA CHI CUADRADO											TEST G		
Nº Intervalo	INTERVALOS		MARCA DE CLASE	FO _i	Distrib. Normal Acum.		Area	FE _i	FO _i -FE _i	(FO _i -FE _i) ² / FE _i	ln FO _i /FE _i	FO _i *(ln (FO _i /FE _i))	
	LIM INF	LIM SUP		Frec.Obs	lim Inf	lim Sup	lim Inf - lim Sup	Frec. Esperada					
1.00	0.00	3.49	1.74	602.00	0.00002	0.00109	0.00107	8.59	593.41	40980.50	4.249	2558.107	
2.00	3.49	4.35	3.92	567.00	0.00109	0.00242	0.00133	10.69	556.31	28953.46	3.971	2251.642	
3.00	4.35	5.22	4.79	510.00	0.00242	0.00506	0.00265	21.33	488.67	11194.76	3.174	1618.863	
4.00	5.22	6.08	5.65	465.00	0.00506	0.01003	0.00497	40.07	424.93	4505.85	2.451	1139.870	
...	
13.00	13.00	13.86	13.43	233.00	0.36174	0.45724	0.09550	770.12	-537.12	374.61	-1.196	-278.553	
14.00	13.86	14.73	14.30	230.00	0.45724	0.55529	0.09805	790.66	-560.66	397.57	-1.235	-284.003	
15.00	14.73	15.59	15.16	188.00	0.55529	0.65005	0.09476	764.17	-576.17	434.42	-1.402	-263.641	
16.00	15.59	16.46	16.03	170.00	0.65005	0.73627	0.08622	695.26	-525.26	396.82	-1.408	-239.442	
...	
24.00	22.51	23.38	22.94	84.00	0.99078	0.99538	0.00460	37.08	46.92	59.36	0.818	68.687	
25.00	23.38	24.24	23.81	77.00	0.99538	0.99781	0.00243	19.59	57.41	168.30	1.369	105.411	
26.00	24.24	25.11	24.67	70.00	0.99781	0.99902	0.00121	9.74	60.26	372.89	1.972	138.067	
27.00	25.11	77.82	51.46	1295.00	0.99902	1.00000	0.00101	8.10	1286.90	204346.91	5.074	6570.654	
										X ²	295831.33	SUMA	13582.58132
										α	0.05	G	27165.16264
										k	27.00	G Ajustado	25826.03491
										GdL	26.00	X ² Crítico	38.88513866
										X ² Crítico	38.89	H0	Se Rechaza H0
										H0	Se Rechaza H0		



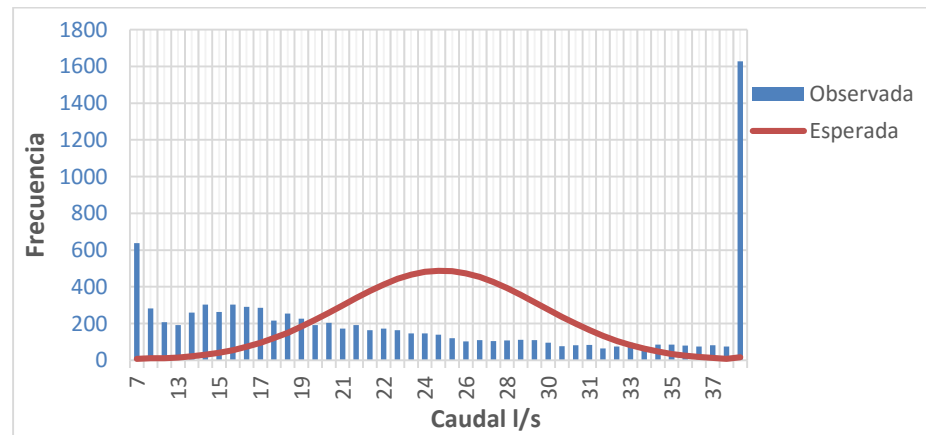
MARZO											TEST G (RAZON DE VEROSIMILITUD)		
PRUEBA CHI CUADRADO			MARCA DE CLASE	FO _i Frec.Obs	Distrib. Normal Acum.		Area lim Inf - lim Sup	FE _i Frec. Esperada	FO _i -FE _i	(FO _i -FE _i) ² / FE _i	ln FO _i /FE _i	FO _i *(ln FO _i /FE _i)	
Nº Intervalo	INTERVALOS				lim Inf	lim Sup							
	LIM INF	LIM SUP											
1.00	0.00	4.04	2.02	952.00	0.00	0.00	0.00	8.89	943.11	100057.90	4.67	4449.36	
2.00	4.04	4.70	4.37	343.00	0.00	0.00	0.00	7.52	335.48	14972.40	3.82	1310.45	
3.00	4.70	5.37	5.04	345.00	0.00	0.00	0.00	12.85	332.15	8587.87	3.29	1135.21	
4.00	5.37	6.03	5.70	398.00	0.00	0.01	0.00	21.22	376.78	6691.07	2.93	1166.79	
...	
18.00	14.67	15.34	15.01	228.00	0.45	0.52	0.07	658.18	-430.18	281.17	-1.06	-241.71	
19.00	15.34	16.00	15.67	177.00	0.52	0.60	0.07	650.95	-473.95	345.08	-1.30	-230.50	
20.00	16.00	16.67	16.34	155.00	0.60	0.67	0.07	622.16	-467.16	350.78	-1.39	-215.41	
21.00	16.67	17.33	17.00	124.00	0.67	0.73	0.06	574.66	-450.66	353.42	-1.53	-190.15	
...	
32.00	23.98	24.65	24.31	83.00	0.99	1.00	0.00	25.13	57.87	133.29	1.19	99.18	
33.00	24.65	25.31	24.98	81.00	1.00	1.00	0.00	15.40	65.60	279.46	1.66	134.47	
34.00	25.31	25.97	25.64	72.00	1.00	1.00	0.00	9.12	62.88	433.53	2.07	148.76	
35.00	25.97	63.15	44.56	1530.00	1.00	1.00	0.00	11.31	1518.69	203931.64	4.91	7508.25	
										X ²	341635.17	SUMA	15198.92
										α	0.05	G	30397.85
										k	35.00	G Ajustado	28592.03
										GdL	34.00	X ² Crítico	51.00
										X ² Crítico	48.60	H0	Se Rechaza H0
										H0	Se Rechaza H0		



PRUEBA CHI CUADRADO											TEST G (RAZON DE VEROSIMILITUD)		
N° Intervalo	INTERVALOS		MARCA DE CLASE	FO _i	Distrib. Normal Acum.		Area	FE _i	FO _i -FE _i	(FO _i -FE _i) ² / FE _i	ln FO _i /FE _i	FO _i *(ln (FO _i /FE _i))	
	LIM INF	LIM SUP		Frec.Obs	lim Inf	lim Sup	lim Inf - lim Sup	Frec. Esperada					
1.00	0.04	7.82	3.93	526.00	0.0000	0.0006	0.0006	5.09	520.91	53264.71	4.64	2439.16	
2.00	7.82	9.38	8.60	349.00	0.0006	0.0020	0.0014	11.94	337.06	9516.44	3.38	1177.99	
3.00	9.38	10.15	9.77	190.00	0.0020	0.0034	0.0014	12.52	177.48	2515.46	2.72	516.71	
4.00	10.15	10.92	10.54	275.00	0.0034	0.0058	0.0023	20.25	254.75	3204.62	2.61	717.35	
...	
18.00	20.93	21.69	21.31	167.00	0.4171	0.4876	0.0705	609.09	-442.09	320.88	-1.29	-216.09	
19.00	21.69	22.46	22.08	180.00	0.4876	0.5585	0.0709	612.47	-432.47	305.37	-1.22	-220.42	
20.00	22.46	23.23	22.85	184.00	0.5585	0.6275	0.0691	596.66	-412.66	285.40	-1.18	-216.46	
21.00	23.23	24.00	23.62	195.00	0.6275	0.6927	0.0652	563.13	-368.13	240.66	-1.06	-206.80	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	v
33.00	32.47	33.24	32.85	112.00	0.9931	0.9959	0.0028	23.77	88.23	327.43	1.55	173.59	
34.00	33.24	34.01	33.62	130.00	0.9959	0.9976	0.0017	14.86	115.14	891.91	2.17	281.93	
35.00	34.01	34.78	34.39	111.00	0.9976	0.9986	0.0010	9.00	102.00	1155.58	2.51	278.83	
36.00	34.78	71.60	53.19	1248.00	0.9986	1.0000	0.0014	11.72	1236.28	130459.99	4.67	5826.15	
										X ²	208589.59	SUMA	11518.31
										α	0.05	G	23036.62
										k	36.00	G Ajustado	21604.09
										GdL	35.00	X ² Crítico	49.80
										X ² Crítico	49.80	H0	Se Rechaza H0
										H0	Se Rechaza H0		

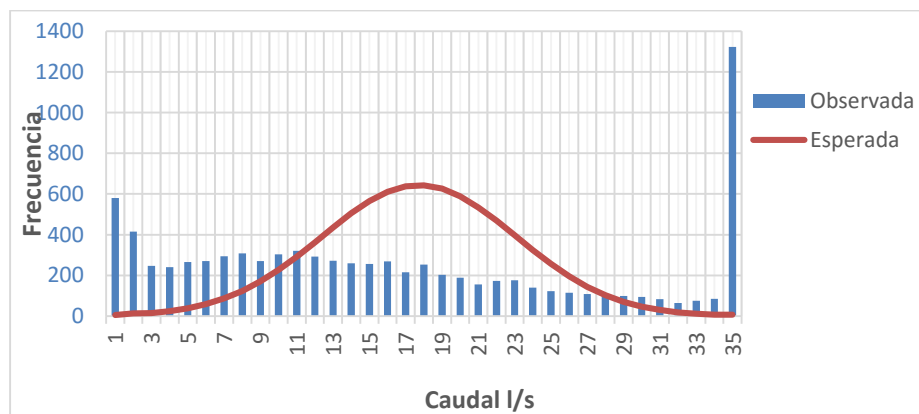


MAYO											TEST G (RAZON DE VEROSIMILITUD)		
PRUEBA CHI CUADRADO			MARCA CLASE	FO _i Frec.Obs	Distrib. Normal Acum.		Area lim Inf - lim Sup	FE _i Frec. Esperada	FO _i -FE _i	(FO _i -FE _i) ² / FE _i	ln FO _i /FE _i	FO _i *(ln (FO _i /FE _i))	
N° Intervalo	INTERVALOS				lim Inf	lim Sup							
	LIM INF	LIM SUP											
1.00	3.59	11.02	7.31	637.00	0.0000	0.0009	0.0009	8.09	628.91	48902.90	4.37	2781.38	
2.00	11.02	12.26	11.64	283.00	0.0009	0.0023	0.0013	12.01	270.99	6113.81	3.16	894.17	
3.00	12.26	12.87	12.57	208.00	0.0023	0.0034	0.0012	10.53	197.47	3703.00	2.98	620.52	
4.00	12.87	13.49	13.18	191.00	0.0034	0.0051	0.0017	15.25	175.75	2026.08	2.53	482.84	
...	
18.00	21.42	22.03	21.72	163.00	0.2165	0.2588	0.0423	377.86	-214.86	122.18	-0.84	-137.05	
19.00	22.03	22.64	22.33	172.00	0.2588	0.3051	0.0462	412.86	-240.86	140.51	-0.88	-150.60	
20.00	22.64	23.25	22.94	163.00	0.3051	0.3546	0.0496	442.70	-279.70	176.72	-1.00	-162.86	
21.00	23.25	23.86	23.56	147.00	0.3546	0.4068	0.0522	465.88	-318.88	218.26	-1.15	-169.56	
...	
42.00	36.07	36.68	36.37	74.00	0.9939	0.9959	0.0020	17.83	56.17	176.99	1.42	105.33	
43.00	36.68	37.29	36.98	82.00	0.9959	0.9973	0.0014	12.42	69.58	390.00	1.89	154.80	
44.00	37.29	37.90	37.59	75.00	0.9973	0.9982	0.0010	8.49	66.51	521.38	2.18	163.43	
45.00	37.90	61.57	49.73	1627.00	0.9982	1.0000	0.0018	15.76	1611.24	164712.98	4.64	7544.29	
										X ²	238564.91	SUMA	13710.58
										α	0.05	G	27421.17
										k	45.00	G Ajustado	25373.48
										GdL	44.00	X ² Crítico	60.48
										X ² Crítico	60.48	H0	Se Rechaza H0
										H0	Se Rechaza H0		



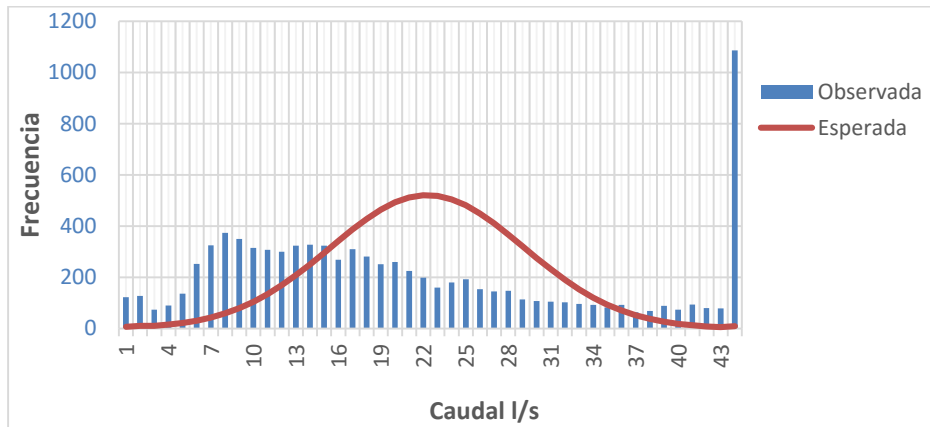
JUNIO

PRUEBA CHI CUADRADO											TEST G (RAZON DE VEROSIMILITUD)		
Nº Intervalo	INTERVALOS		MARCA DE CLASE	FO _i	Distrib. Normal Acum.		Area	FE _i	FO _i -FE _i	(FO _i -FE _i) ² / FE _i	ln FO _i /FE _i	FO _i *(ln (FO _i /FE _i))	
	LIM INF	LIM SUP		Frec.Obs	lim Inf	lim Sup	lim Inf - lim Sup	Frec. Esperada					
1.00	0.00	9.12	4.56	580.00	0.0000	0.0006	0.0006	5.47	574.53	60357.26	4.66	2705.09	
2.00	9.12	10.76	9.94	415.00	0.0006	0.0022	0.0016	13.45	401.55	11990.98	3.43	1423.25	
3.00	10.76	11.58	11.17	247.00	0.0022	0.0039	0.0017	14.59	232.41	3701.01	2.83	698.71	
4.00	11.58	12.40	11.99	241.00	0.0039	0.0067	0.0028	23.98	217.02	1964.24	2.31	556.15	
...	
18.00	23.07	23.89	23.48	253.00	0.4825	0.5569	0.0744	642.95	-389.95	236.51	-0.93	-235.97	
19.00	23.89	24.71	24.30	202.00	0.5569	0.6293	0.0725	626.03	-424.03	287.21	-1.13	-228.49	
20.00	24.71	25.53	25.12	188.00	0.6293	0.6975	0.0681	588.66	-400.66	272.70	-1.14	-214.58	
21.00	25.53	26.35	25.94	156.00	0.6975	0.7593	0.0619	534.54	-378.54	268.07	-1.23	-192.12	
...	
32.00	34.55	35.37	34.96	64.00	0.9950	0.9971	0.0021	18.51	45.49	111.75	1.24	79.38	
33.00	35.37	36.19	35.78	76.00	0.9971	0.9984	0.0013	11.06	64.94	381.19	1.93	146.47	
34.00	36.19	37.01	36.60	84.00	0.9984	0.9991	0.0007	6.38	77.62	943.77	2.58	216.48	
35.00	37.01	76.28	56.64	1322.00	0.9991	1.0000	0.0009	7.41	1314.59	233213.78	5.18	6853.32	
										X ²	318252.95	SUMA	12178.50
										α	0.05	G	24357.00
										k	35.00	G Ajustado	22880.82
										GdL	34.00	X ² Crítico	48.60
										X ² Crítico	48.60	H0	Se Rechaza H0
										H0	Se Rechaza H0		

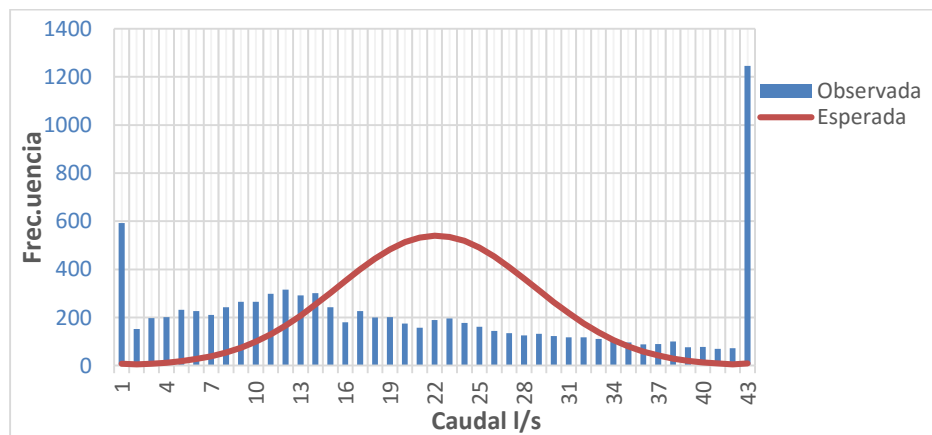


JULIO

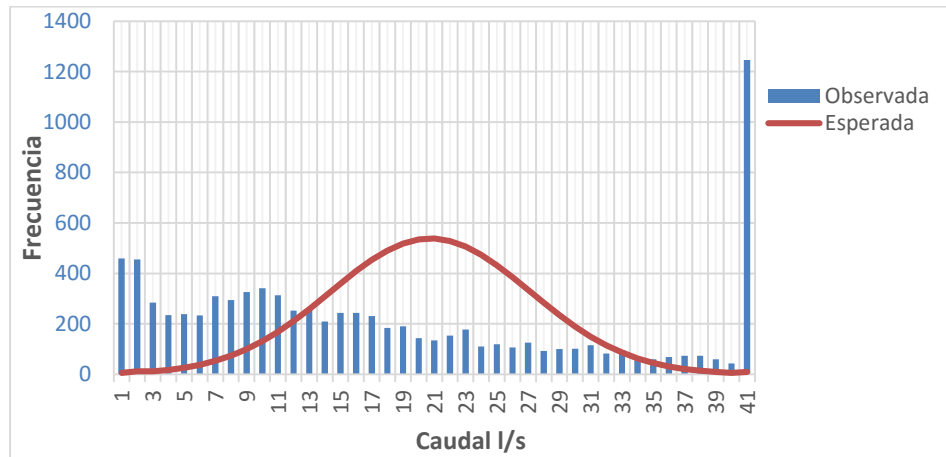
PRUEBA CHI CUADRADO											TEST G (RAZON DE VEROSIMILITUD)		
N° Intervalo	INTERVALOS		MARCA DE CLASE	FO _i	Distrib. Normal Acum.		Area	FE _i	FO _i -FE _i	(FO _i -FE _i) ² / FE _i	ln FO _i /FE _i	FO _i *(ln (FO _i /FE _i))	
	LIM INF	LIM SUP		Frec.Obs	lim Inf	lim Sup	lim Inf - lim Sup	Frec. Esperada					
1.00	4.08	8.57	6.33	122.00	0.0000	0.0007	0.0007	6.35	115.65	2104.84	2.95	360.50	
2.00	8.57	9.86	9.22	127.00	0.0007	0.0019	0.0012	10.61	116.39	1277.10	2.48	315.29	
3.00	9.86	10.50	10.18	73.00	0.0019	0.0030	0.0011	9.86	63.14	404.58	2.00	146.18	
4.00	10.50	11.14	10.82	90.00	0.0030	0.0047	0.0016	14.72	75.28	385.17	1.81	162.98	
...	
18.00	19.49	20.13	19.81	281.00	0.2424	0.2903	0.0479	428.08	-147.08	50.53	-0.42	-118.29	
19.00	20.13	20.77	20.45	251.00	0.2903	0.3423	0.0520	464.03	-213.03	97.80	-0.61	-154.24	
20.00	20.77	21.42	21.10	259.00	0.3423	0.3975	0.0551	492.37	-233.37	110.61	-0.64	-166.38	
21.00	21.42	22.06	21.74	225.00	0.3975	0.4547	0.0573	511.41	-286.41	160.40	-0.82	-184.74	
...	
41.00	34.26	34.90	34.58	93.00	0.9961	0.9975	0.0014	12.34	80.66	527.06	2.02	187.81	
42.00	34.90	35.54	35.22	80.00	0.9975	0.9984	0.0009	8.19	71.81	629.76	2.28	182.34	
43.00	35.54	36.19	35.86	78.00	0.9984	0.9990	0.0006	5.32	72.68	993.42	2.69	209.48	
44.00	36.19	65.08	50.63	1086.00	0.9990	1.0000	0.0010	8.65	1077.35	134167.70	4.83	5248.19	
										X ²	150466.05	SUMA	8387.71
										α	0.05	G	16775.43
										k	44.00	G Ajustado	15547.96
										GdL	43.00	X ² Crítico	59.30
										X ² Crítico	59.30	H0	Se Rechaza H0
										H0	Se Rechaza H0		



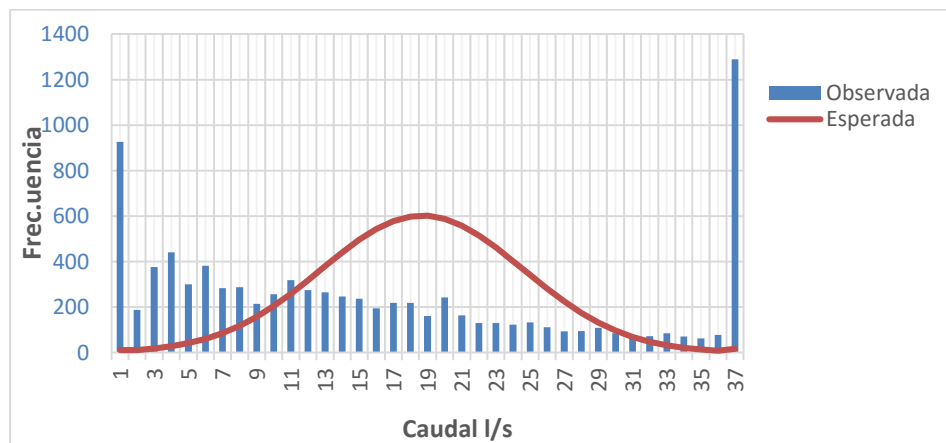
AGOSTO												TEST G (RAZON DE VEROSIMILITUD)	
PRUEBA CHI CUADRADO			MARCA DE CLASE	FO _i	Distrib. Normal Acum.		Area	FE _i	FO _i -FE _i	(FO _i -FE _i) ² / FE _i	ln FO _i /FE _i	FO _i *(ln (FO _i /FE _i))	
Nº Intervalo	INTERVALOS			Frec.Obs	lim Inf	lim Sup	lim Inf - lim Sup	Frec. Esperada					
	LIM INF	LIM SUP											
1.00	3.48	9.52	6.50	592.00	0.0000	0.0009	0.0009	7.80	584.20	43781.23	4.33	2563.34	
2.00	9.52	10.19	9.86	152.00	0.0009	0.0015	0.0006	5.15	146.85	4183.27	3.38	514.36	
3.00	10.19	10.86	10.53	198.00	0.0015	0.0024	0.0009	8.09	189.91	4455.86	3.20	633.04	
4.00	10.86	11.53	11.20	202.00	0.0024	0.0038	0.0014	12.42	189.58	2893.94	2.79	563.38	
...	
18.00	20.26	20.93	20.59	200.00	0.2420	0.2918	0.0498	444.86	-244.86	134.78	-0.80	-159.89	
19.00	20.93	21.60	21.26	201.00	0.2918	0.3460	0.0541	483.38	-282.38	164.96	-0.88	-176.38	
20.00	21.60	22.27	21.93	175.00	0.3460	0.4035	0.0575	513.30	-338.30	222.96	-1.08	-188.31	
21.00	22.27	22.94	22.61	157.00	0.4035	0.4631	0.0597	532.66	-375.66	264.94	-1.22	-191.80	
...	
40.00	35.02	35.69	35.36	78.00	0.9959	0.9974	0.0015	13.60	64.40	304.97	1.75	136.24	
41.00	35.69	36.36	36.03	70.00	0.9974	0.9984	0.0010	8.91	61.09	419.00	2.06	144.31	
42.00	36.36	37.03	36.70	72.00	0.9984	0.9990	0.0006	5.70	66.30	770.90	2.54	182.58	
43.00	37.03	67.23	52.13	1246.00	0.9990	1.0000	0.0010	8.79	1237.21	174111.54	4.95	6172.58	
										X ²	240423.77	SUMA	11646.17
										α	0.05	G	23292.35
										k	43.00	G Ajustado	21623.19
										GdL	42.00	X ² Crítico	58.12
										X ² Crítico	58.12	H0	Se Rechaza H0
										H0	Se Rechaza H0		



PRUEBA CHI CUADRADO											TEST G (RAZON DE VEROSIMILITUD)		
Nº Intervalo	INTERVALOS		MARCA DE CLASE	FO _i	Distrib. Normal Acum.		Area	FE _i	FO _i -FE _i	(FO _i -FE _i) ² / FE _i	ln FO _i /FE _i	FO _i *(ln (FO _i /FE _i))	
	LIM INF	LIM SUP		Frec.Obs	lim Inf	lim Sup	lim Inf - lim Sup	Frec. Esperada					
1.00	0.95	4.15	2.55	459.00	0.00004	0.00077	0.00073	6.31	452.69	32455.57	4.29	1967.40	
2.00	4.15	5.43	4.79	455.00	0.00077	0.00216	0.00139	11.98	443.02	16383.08	3.64	1654.87	
3.00	5.43	6.07	5.75	284.00	0.00216	0.00349	0.00133	11.51	272.49	6452.28	3.21	910.49	
4.00	6.07	6.71	6.39	235.00	0.00349	0.00552	0.00203	17.53	217.47	2697.50	2.60	609.96	
...	
18.00	15.03	15.67	15.35	184.00	0.30541	0.36222	0.05681	490.80	-306.80	191.78	-0.98	-180.52	
19.00	15.67	16.31	15.99	190.00	0.36222	0.42224	0.06002	518.56	-328.56	208.17	-1.00	-190.77	
20.00	16.31	16.95	16.63	143.00	0.42224	0.48412	0.06188	534.68	-391.68	286.92	-1.32	-188.59	
21.00	16.95	17.59	17.27	134.00	0.48412	0.54639	0.06227	538.01	-404.01	303.38	-1.39	-186.26	
...	
38.00	27.83	28.47	28.15	74.00	0.99558	0.99724	0.00166	14.30	59.70	249.16	1.64	121.63	
39.00	28.47	29.11	28.79	60.00	0.99724	0.99831	0.00107	9.28	50.72	277.35	1.87	112.01	
40.00	29.11	29.75	29.43	43.00	0.99831	0.99899	0.00068	5.87	37.13	234.78	1.99	85.62	
41.00	29.75	60.46	45.10	1246.00	0.99899	1.00000	0.00105	9.06	1236.94	168835.50	4.92	6134.79	
										X ²	236153.16	SUMA	12142.25
										α	0.05	G	24284.50
										k	41.00	G Ajustado	22584.58
										GdL	40.00	X ² Crítico	55.76
										X ² Crítico	55.76	H0	Se Rechaza H0
										H0	Se Rechaza H0		



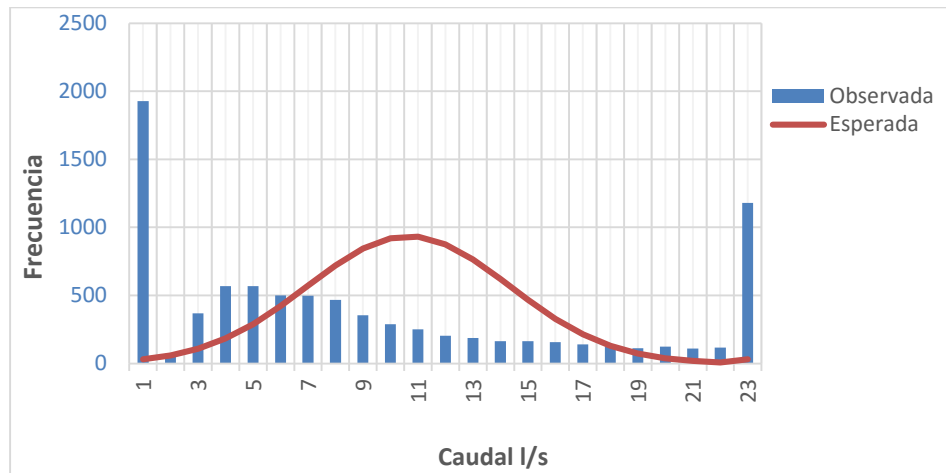
OCTUBRE											TEST G (RAZON DE VEROSIMILITUD)		
PRUEBA CHI CUADRADO			MARCA DE CLASE	FO _i	Distrib. Normal Acum.		Area	FE _i	FO _i -FE _i	(FO _i -FE _i) ² /FE _i	ln FO _i /FE _i	FO _i *(ln FO _i /FE _i)	
Nº Intervalo	INTERVALOS			Frec.Obs	lim Inf	lim Sup	lim Inf - lim Sup	Frec. Esperada					
	LIM INF	LIM SUP											
1.00	0.00	1.15	0.57	926.00	0.0006	0.0018	0.0012	10.92	915.08	76680.32	4.44	4111.67	
2.00	1.15	1.72	1.43	188.00	0.0018	0.0031	0.0013	11.20	176.80	2790.50	2.82	530.23	
3.00	1.72	2.29	2.01	376.00	0.0031	0.0050	0.0020	17.80	358.20	7207.75	3.05	1146.92	
4.00	2.29	2.86	2.58	441.00	0.0050	0.0081	0.0031	27.49	413.51	6219.75	2.78	1223.85	
...	
18.00	10.31	10.89	10.60	219.00	0.4201	0.4872	0.0670	598.37	-379.37	240.52	-1.01	-220.13	
19.00	10.89	11.46	11.17	160.00	0.4872	0.5545	0.0674	601.64	-441.64	324.19	-1.32	-211.92	
20.00	11.46	12.03	11.75	242.00	0.5545	0.6204	0.0658	587.86	-345.86	203.48	-0.89	-214.79	
21.00	12.03	12.60	12.32	164.00	0.6204	0.6829	0.0625	558.19	-394.19	278.38	-1.22	-200.87	
...	
34.00	19.48	20.05	19.77	70.00	0.9939	0.9963	0.0024	21.07	48.93	113.60	1.20	84.04	
35.00	20.05	20.63	20.34	62.00	0.9963	0.9978	0.0015	13.41	48.59	176.16	1.53	94.95	
36.00	20.63	21.20	20.91	78.00	0.9978	0.9987	0.0009	8.29	69.71	586.44	2.24	174.88	
37.00	21.20	54.43	37.81	1290.00	0.9987	1.0000	0.0019	16.59	1273.41	97773.71	4.35	5616.52	
										X ²	198566.85	SUMA	12581.93
										α	0.05	G	25163.85
										k	37.00	G Ajustado	23591.11
										GdL	36.00	X ² Crítico	51.00
										X ² Crítico	51.00	H0	Se Rechaza H0
										H0	Se Rechaza H0		



NOVIEMBRE

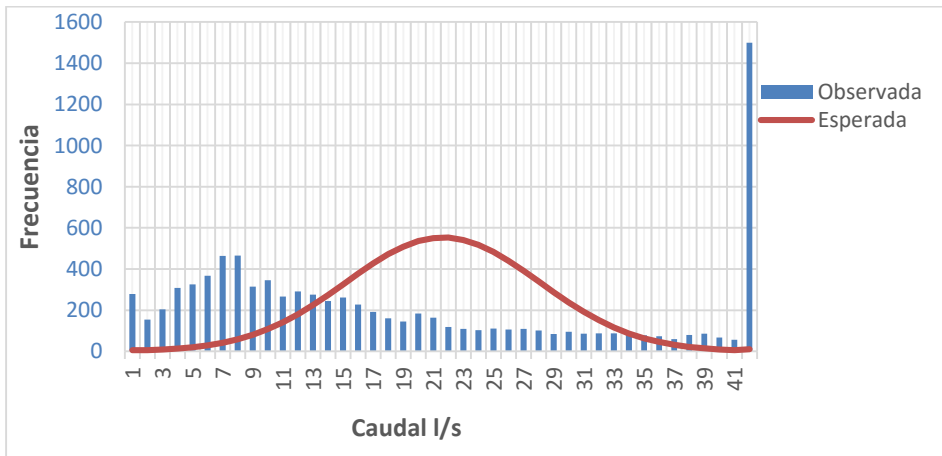
TEST G
(RAZON DE VEROSIMILITUD)

PRUEBA CHI CUADRADO												TEST G (RAZON DE VEROSIMILITUD)	
N° Intervalo	INTERVALOS		MARCA DE CLASE	FO _i	Distrib. Normal Acum.		Area	FE _i				ln FO _i /FE _i	FO _i *(ln (FO _i /FE _i))
	LIM INF	LIM SUP		Frec.Obs	lim Inf	lim Sup	lim Inf - lim Sup	Frec. Esperada	FO _i -FE _i	(FO _i -FE _i) ² / FE _i			
1.00	0.00	0.82	0.41	1928.00	0.0028	0.0063	0.0035	30.15	1897.85	119458.06	4.16	8016.64	
2.00	0.82	1.63	1.22	71.00	0.0063	0.0132	0.0068	59.17	11.83	2.37	0.18	12.95	
3.00	1.63	2.45	2.04	368.00	0.0132	0.0257	0.0125	107.87	260.13	627.36	1.23	451.61	
4.00	2.45	3.26	2.86	568.00	0.0257	0.0468	0.0211	182.70	385.30	812.58	1.13	644.27	
...	
18.00	13.88	14.69	14.28	122.00	0.9686	0.9835	0.0149	128.96	-6.96	0.38	-0.06	-6.77	
19.00	14.69	15.51	15.10	112.00	0.9835	0.9919	0.0084	72.44	39.56	21.60	0.44	48.80	
20.00	15.51	16.32	15.92	124.00	0.9919	0.9963	0.0044	37.81	86.19	196.50	1.19	147.29	
21.00	16.32	17.14	16.73	109.00	0.9963	0.9984	0.0021	18.33	90.67	448.46	1.78	194.32	
22.00	17.14	17.96	17.55	117.00	0.9984	0.9994	0.0010	8.26	108.74	1432.00	2.65	310.17	
23.00	17.96	75.91	46.93	1179.00	0.9994	1.0000	0.0035	30.12	1148.88	43827.35	3.67	4323.80	
										X ²	170031.50	SUMA	12251.28
										α	0.05	G	24502.55
										k	23.00	G Ajustado	23492.14
										GdL	22.00	X ² Crítico	33.92
										X ² Crítico	33.92	H0	Se Rechaza H0
										H0	Se Rechaza H0		



DICIEMBRE

PRUEBA CHI CUADRADO											TEST G (RAZON DE VEROSIMILITUD)		
N° Intervalo	INTERVALOS		MARCA DE CLASE	FO _i	Distrib. Normal Acum.		Area	FE _i	FO _i -FE _i	(FO _i -FE _i) ² / FE _i	ln FO _i /FE _i	FO _i *(ln (FO _i /FE _i))	
	LIM INF	LIM SUP		Frec.Obs	lim Inf	lim Sup	lim Inf - lim Sup	Frec. Esperada					
1.00	0.00	1.69	0.85	279.00	0.0002	0.0009	0.0007	6.32	272.68	11771.70	3.79	1056.86	
2.00	1.69	2.26	1.97	155.00	0.0009	0.0015	0.0006	5.26	149.74	4261.06	3.38	524.35	
3.00	2.26	2.82	2.54	204.00	0.0015	0.0024	0.0009	8.35	195.65	4582.81	3.20	651.89	
4.00	2.82	3.38	3.10	309.00	0.0024	0.0038	0.0014	12.94	296.06	6772.54	3.17	980.41	
...	
18.00	10.72	11.28	11.00	161.00	0.2599	0.3127	0.0528	471.68	-310.68	204.64	-1.07	-173.06	
19.00	11.28	11.84	11.56	145.00	0.3127	0.3697	0.0570	508.81	-363.81	260.14	-1.26	-182.03	
20.00	11.84	12.41	12.13	184.00	0.3697	0.4297	0.0600	535.77	-351.77	230.97	-1.07	-196.66	
21.00	12.41	12.97	12.69	163.00	0.4297	0.4914	0.0617	550.71	-387.71	272.95	-1.22	-198.44	
...	
39.00	22.56	23.12	22.84	86.00	0.9956	0.9973	0.0016	14.55	71.45	350.88	1.78	152.80	
40.00	23.12	23.69	23.41	67.00	0.9973	0.9983	0.0011	9.45	57.55	350.33	1.96	131.21	
41.00	23.69	24.25	23.97	56.00	0.9983	0.9990	0.0007	6.00	50.00	417.08	2.23	125.13	
42.00	24.25	53.58	38.92	1500.00	0.9990	1.0000	0.0012	10.39	1489.61	213635.70	4.97	7459.06	
										X ²	263007.27	SUMA	13866.49
										α	0.05	G	27732.97
										k	42.00	G Ajustado	25787.59
										GdL	41.00	X ² Crítico	56.94
										X ² Crítico	56.94	H0	Se Rechaza H0
										H0	Se Rechaza H0		



ANEXO 6: TEST DE KOLMOGOROV – SMIRNOV

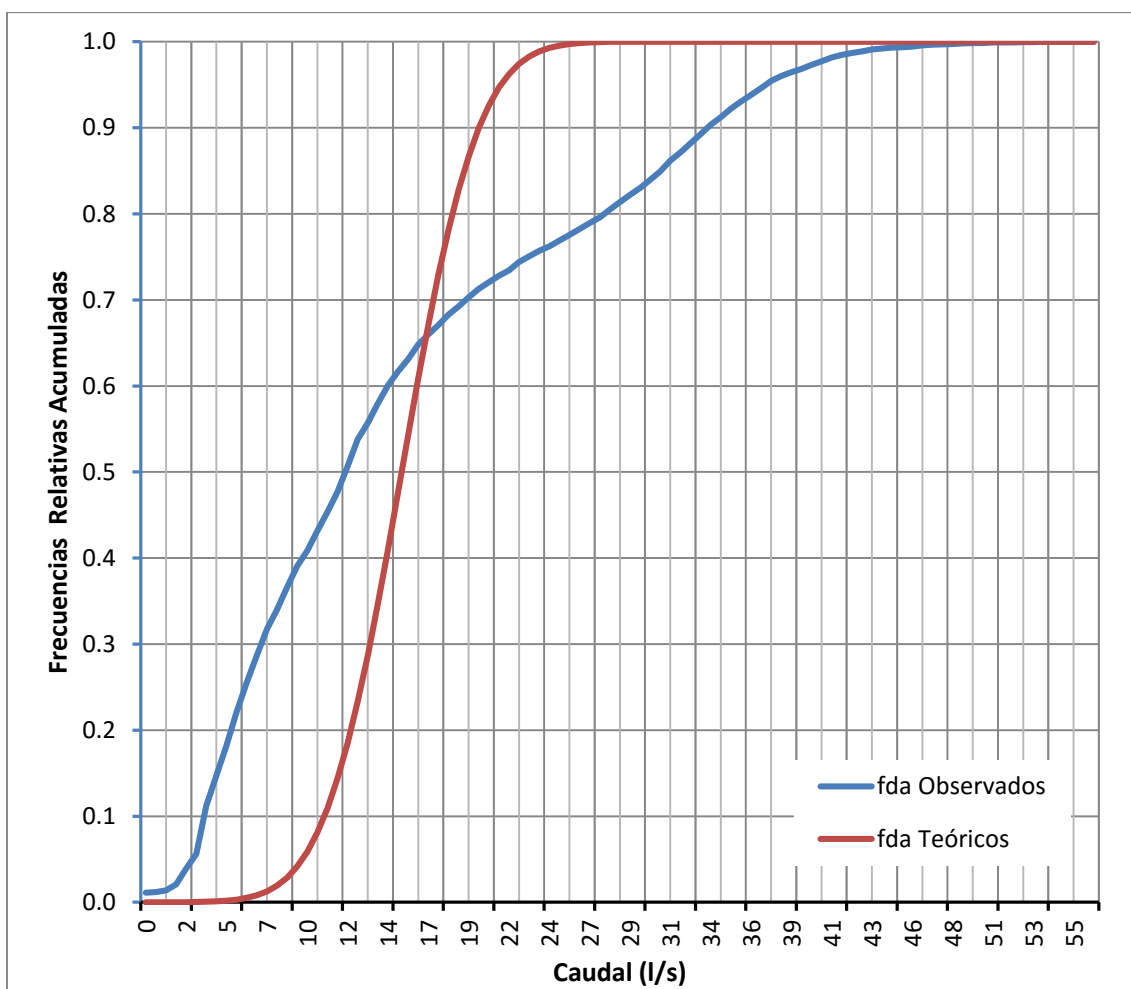
Anexo 6 –Test de Kolmogorov – Smirnov - Tablas de Cálculo - Gráficas

Media	15.28602
Desv. Estándar	3.60456
Q Clément	21.21500

ENERO

Estadístico K-S	0.35020
Nivel de Significancia	0.05000
Grado de Libertad	8928
Estadístico Tabla	0.01439
Ho	Se Rechaza

Clase	Frec.	Frec. Relativa	% acumulado	Dist Normal Teórica	FAO _i	FAE _i	Abs (FAO _i - FAE _i)
					Frec Relat. Acum	Dist Normal Teórica Acum	
0.00	98	0.010977	1.10%	0.000014	0.010977	0.000011	0.010966
0.60	9	0.001008	1.20%	0.000028	0.011985	0.000023	0.011962
1.21	17	0.001904	1.39%	0.000054	0.013889	0.000047	0.013842
1.81	63	0.007056	2.09%	0.000102	0.020945	0.000092	0.020853
...
13.87	199	0.022289	57.95%	0.102414	0.579525	0.346815	0.232710
14.47	191	0.021393	60.09%	0.107870	0.600918	0.410336	0.190583
15.07	140	0.015681	61.66%	0.110482	0.616599	0.476305	0.140294
15.67	130	0.014561	63.12%	0.110036	0.631160	0.542932	0.088228
...
54.86	0	0.000000	99.99%	0.000000	0.999888	1.000000	-0.000112
55.46	0	0.000000	99.99%	0.000000	0.999888	1.000000	-0.000112
56.07	0	0.000000	99.99%	0.000000	0.999888	1.000000	-0.000112
56.67	1	0.000112	100.00%	0.000000	1.000000	1.000000	0.000000

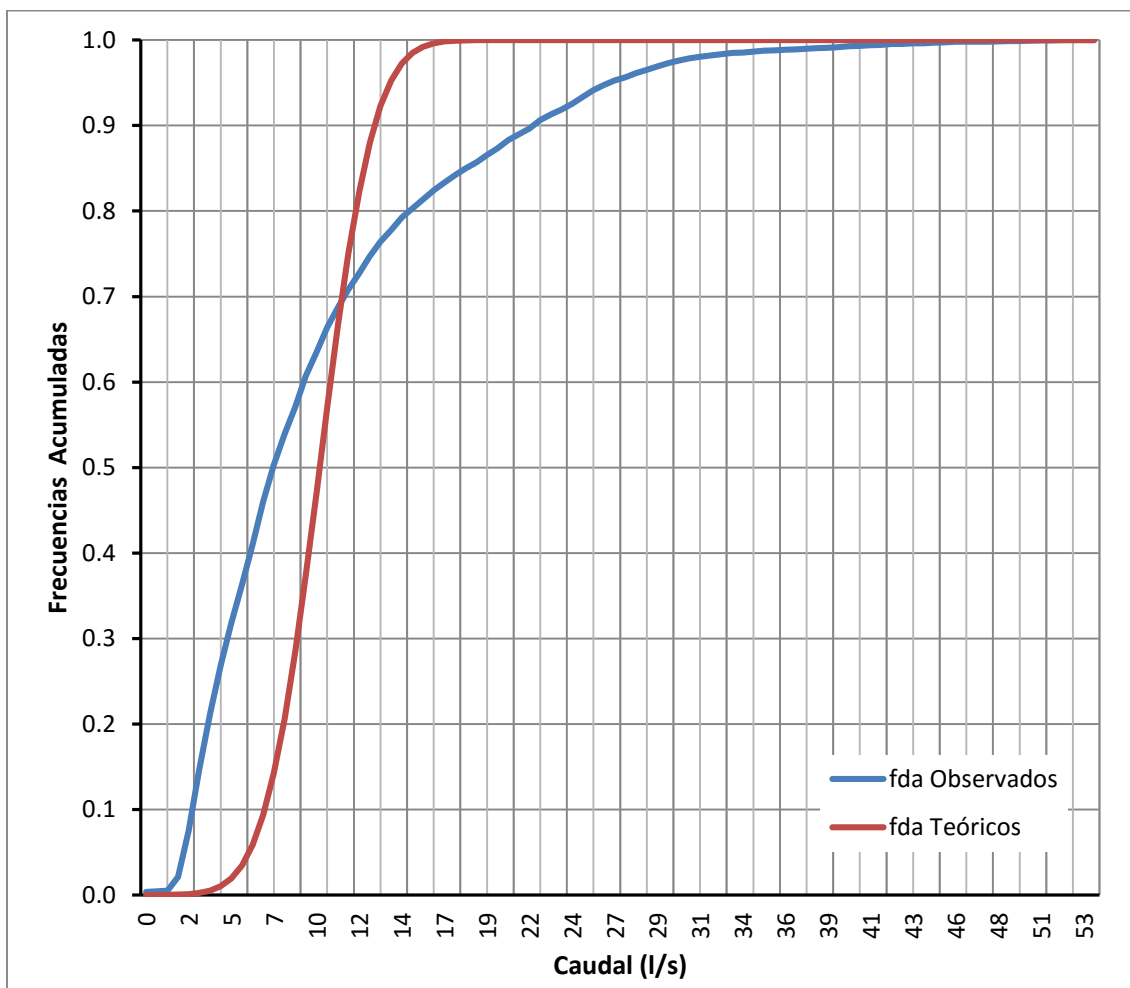


Media	14.24149
Desv. Estándar	3.50885
Q Clément	20.01303

FEBRERO

Estadístico K-S	0.36662
Nivel de Significancia	0.05
Grado de Libertad	8064
Estadístico Tabla Ho	0.01514
	Se Rechaza

Clase	Frec.	Frec. Relativa	% acumulad	Dist Normal Teórica	FAO _i Frec Relat. Acum	FAE _i Dist Normal Teórica Acum	Abs (FAO _i - FAE _i)
0.00000	30	0.00372	0.37%	0.00003	0.00372	0.00002	0.00370
0.87438	4	0.00050	0.42%	0.00008	0.00422	0.00007	0.00415
1.74876	8	0.00099	0.52%	0.00020	0.00521	0.00019	0.00502
2.62315	128	0.01587	2.11%	0.00047	0.02108	0.00046	0.02062
...
18.36202	161	0.01997	74.72%	0.05705	0.74715	0.87987	-0.13272
19.23640	136	0.01687	76.40%	0.04128	0.76401	0.92271	-0.15869
20.11079	111	0.01376	77.78%	0.02807	0.77778	0.95281	-0.17503
20.98517	118	0.01463	79.24%	0.01793	0.79241	0.97269	-0.18028
...
75.19685	1	0.00012	99.98%	0.00000	0.99975	1.00000	-0.00025
76.07124	0	0.00000	99.98%	0.00000	0.99975	1.00000	-0.00025
76.94562	0	0.00000	99.98%	0.00000	0.99975	1.00000	-0.00025
77.74562	2	0.00025	100.00%	0.00000	1.00000	1.00000	0.00000

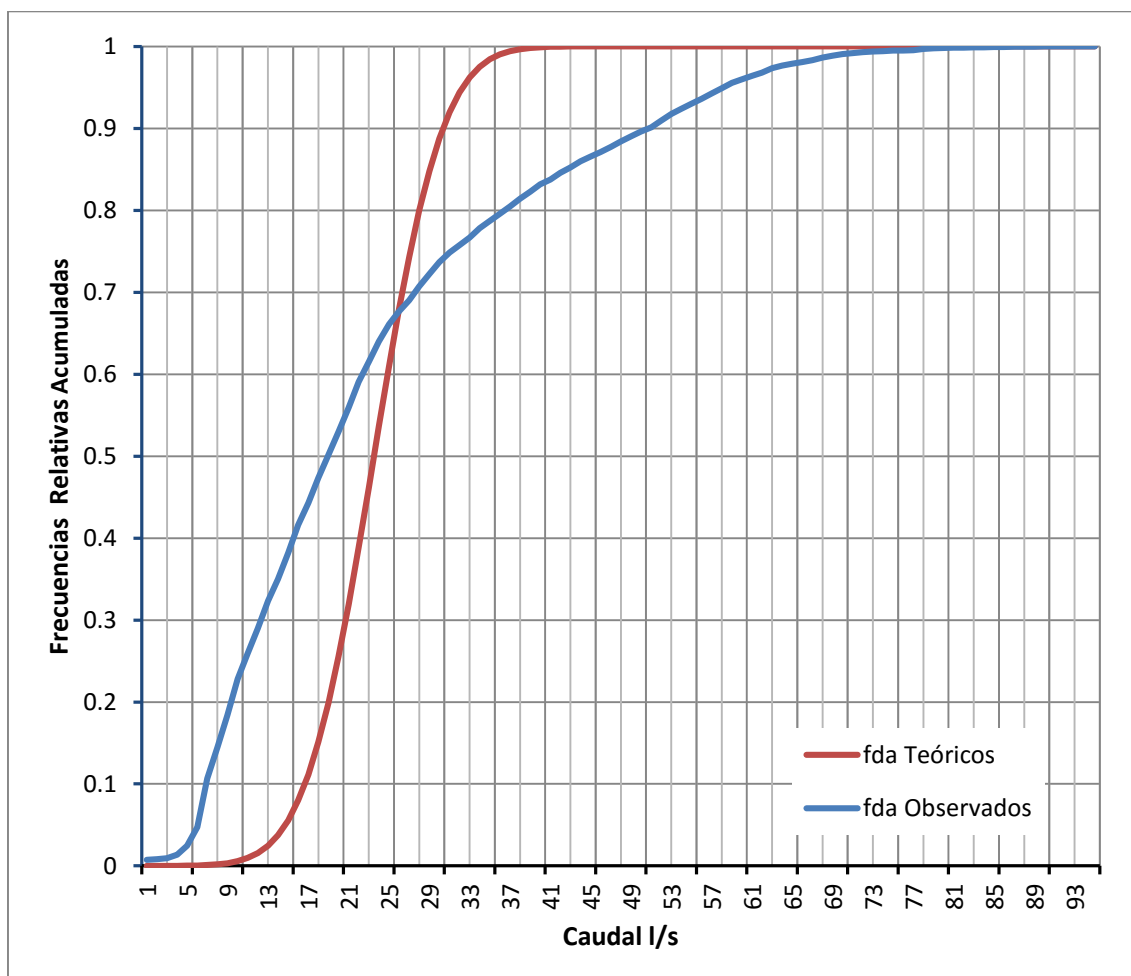


Media	15.12405
Desv. Estándar	3.59016
Q Clément	21.02934

MARZO

Estadístico K-S	0.33599
Nivel de Significancia	0.05
Grado de Libertad	8928
Estadístico Tabla Ho	0.01439
	Se Rechaza

Clase	Frec.	Frec. Relativa	% acumulad	Dist Normal Teórica	Frec Relat. Acum	Dist Normal Teórica Acum	Abs (FAO _i -FAE _j)
0.00000	66	0.00739	0.74%	0.00002	0.00739	0.00001	0.00738
0.67181	7	0.00078	0.82%	0.00003	0.00818	0.00003	0.00815
1.34362	10	0.00112	0.93%	0.00007	0.00930	0.00006	0.00923
2.01543	39	0.00437	1.37%	0.00014	0.01366	0.00013	0.01353
...
18.13883	149	0.01669	70.71%	0.07810	0.70699	0.79947	-0.09248
18.81064	137	0.01534	72.24%	0.06559	0.72233	0.84776	-0.12542
19.48245	127	0.01422	73.66%	0.05318	0.73656	0.88762	-0.15106
20.15426	105	0.01176	74.84%	0.04164	0.74832	0.91941	-0.17109
...
61.13457	0	0.00000	99.99%	0.00000	0.99978	1.00000	-0.00022
61.80638	0	0.00000	99.99%	0.00000	0.99978	1.00000	-0.00022
62.47819	0	0.00000	99.99%	0.00000	0.99978	1.00000	-0.00022
63.15000	1	0.00011	100.00%	0.00000	0.99989	1.00000	-0.00011

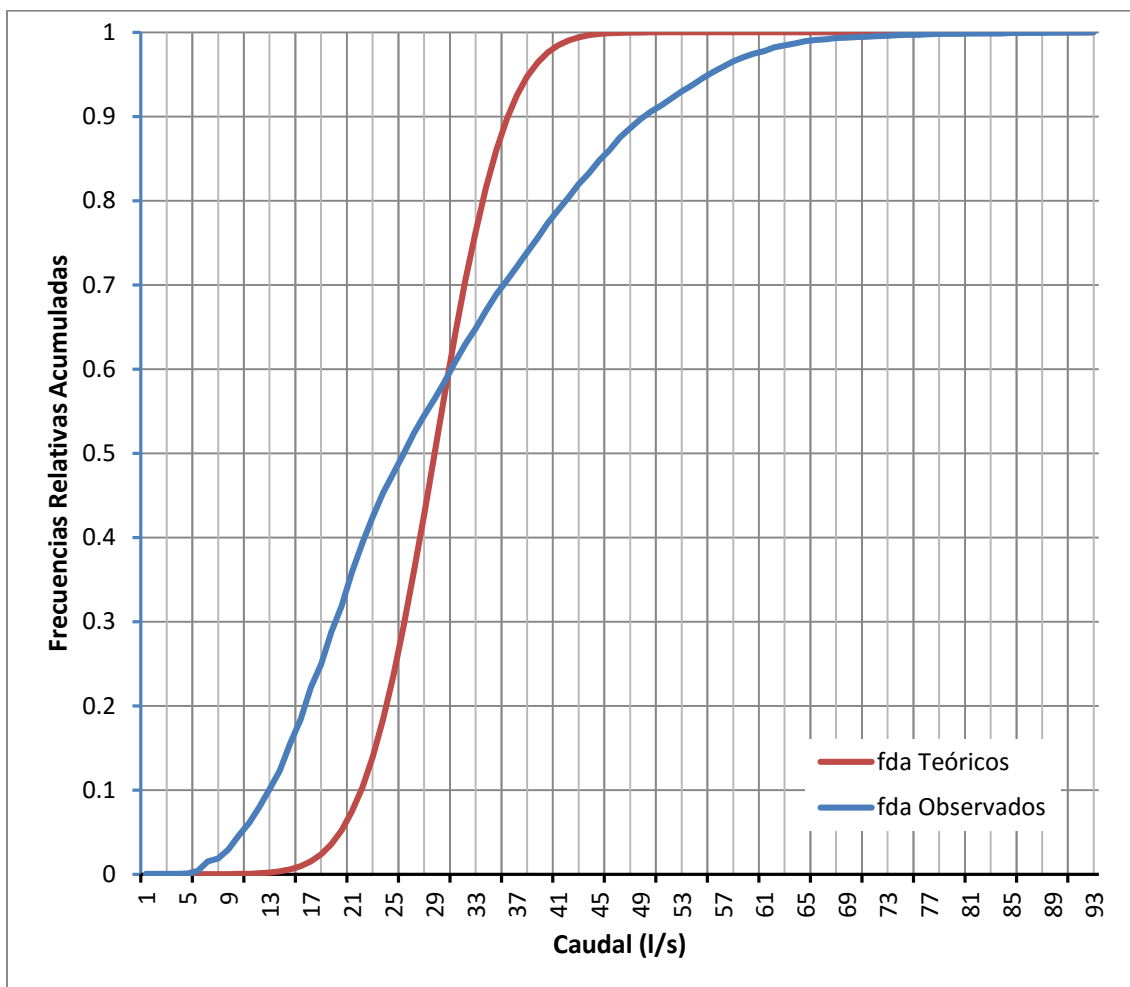


Media	21.82924
Desv. Estándar	4.31741
Q Clément	28.93075

ABRIL

Estadístico K-S	0.29042
Nivel de Significancia	0.05
Grado de Libertad	8640
Estadístico Tabla	0.01463
Ho	Se Rechaza

Clase	Frec.	Frec. Relativa	% acumulada	Dist Normal Teórica	FAO _i	FAE _i	Abs (FAO _i - FAE _i)
					Frec Relat. Acum	Dist Normal Teórica Acum	
0.04000	4	0.00046	0.05%	0.00000	0.00046	0.00000	0.00046
0.81783	0	0.00000	0.05%	0.00000	0.00046	0.00000	0.00046
1.59565	1	0.00012	0.06%	0.00000	0.00058	0.00000	0.00058
2.37348	0	0.00000	0.06%	0.00000	0.00058	0.00000	0.00058
...
18.70783	200	0.02315	47.58%	0.07115	0.47581	0.23485	0.24096
19.48565	200	0.02315	49.90%	0.07974	0.49896	0.29363	0.20533
20.26348	211	0.02442	52.34%	0.08652	0.52338	0.35843	0.16495
21.04130	186	0.02153	54.49%	0.09088	0.54491	0.42759	0.11731
...
68.48870	2	0.00023	99.97%	0.00000	0.99965	1.00000	-0.00035
69.26652	1	0.00012	99.98%	0.00000	0.99977	1.00000	-0.00023
70.04435	0	0.00000	99.98%	0.00000	0.99977	1.00000	-0.00023
70.82217	0	0.00000	99.98%	0.00000	0.99977	1.00000	-0.00023
71.60000	2	0.00023	0.05%	0.00000	1.00000	1.00000	0.00000

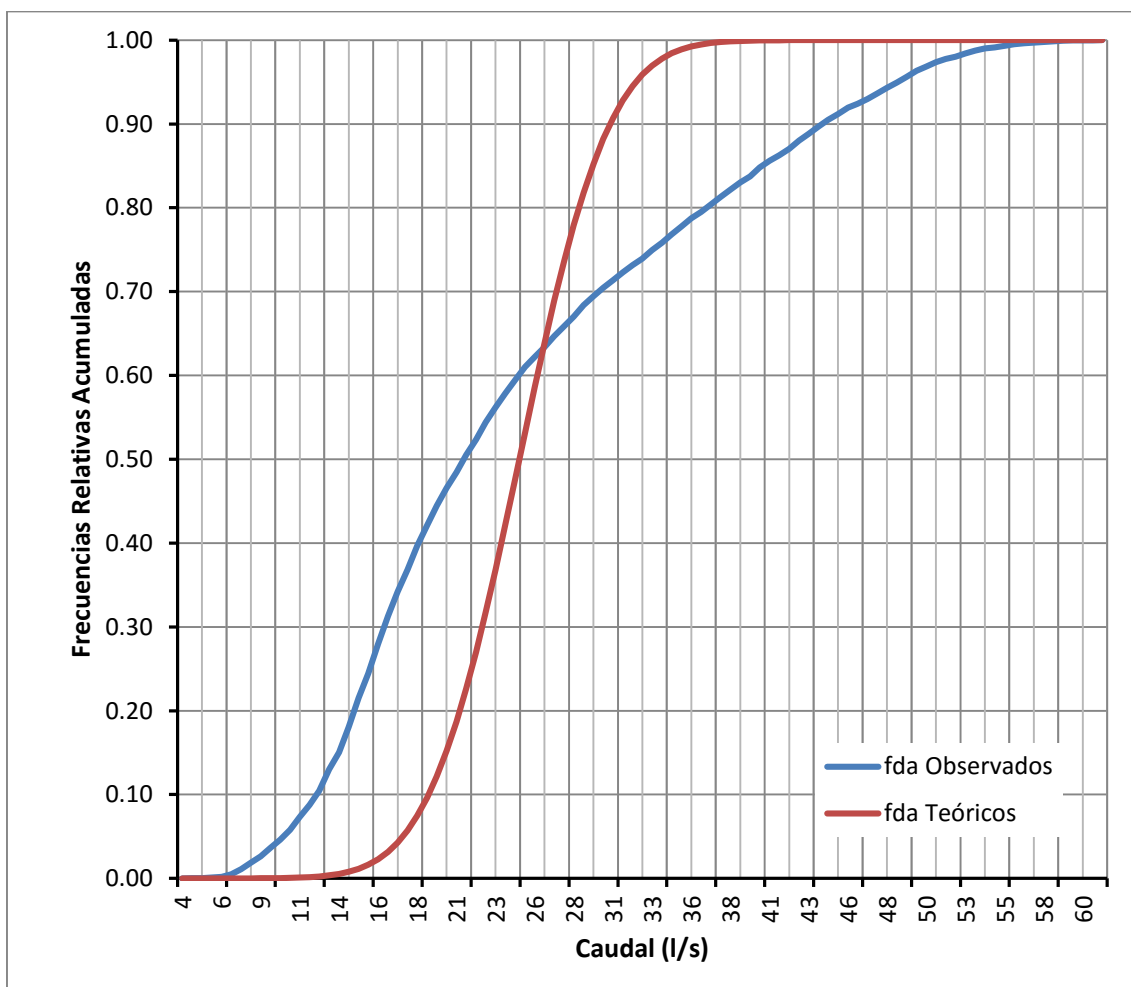


Media	24.90978
Dev. Estándar	4.45180
Q Clément	32.23234

MAYO

Estadístico K-S	0.32488
Nivel de Significancia	0.05
Grado de Libertad	8928
Estadístico Tabla	0.01439
Ho	Se Rechaza

Clase	Frec.	Frec. Relativa	% acumulad	Dist Normal Teórica	FAO _i Frec Relat. Acum	FAE _i Dist Normal Teórica Acum	Abs (FAO _i -FAE _i)
3.72000	1	0.00011	0.01%	0.00000	0.00011	0.00000	0.00011
4.33543	2	0.00022	0.03%	0.00000	0.00034	0.00000	0.00033
4.95085	1	0.00011	0.05%	0.00000	0.00045	0.00000	0.00044
5.56628	7	0.00078	0.12%	0.00001	0.00123	0.00001	0.00123
...
18.49021	253	0.02834	39.69%	0.03168	0.39684	0.07465	0.32219
19.10564	216	0.02419	42.11%	0.03831	0.42103	0.09616	0.32488
19.72106	208	0.02330	44.44%	0.04543	0.44433	0.12190	0.32243
20.33649	192	0.02151	46.59%	0.05287	0.46584	0.15214	0.31370
...
59.72372	3	0.00034	99.96%	0.00000	0.99944	1.00000	-0.00056
60.33915	2	0.00022	99.98%	0.00000	0.99966	1.00000	-0.00034
60.95457	0	0.00000	99.98%	0.00000	0.99966	1.00000	-0.00034
61.55457	2	0.00022	100.00%	0.00000	0.99989	1.00000	-0.00011

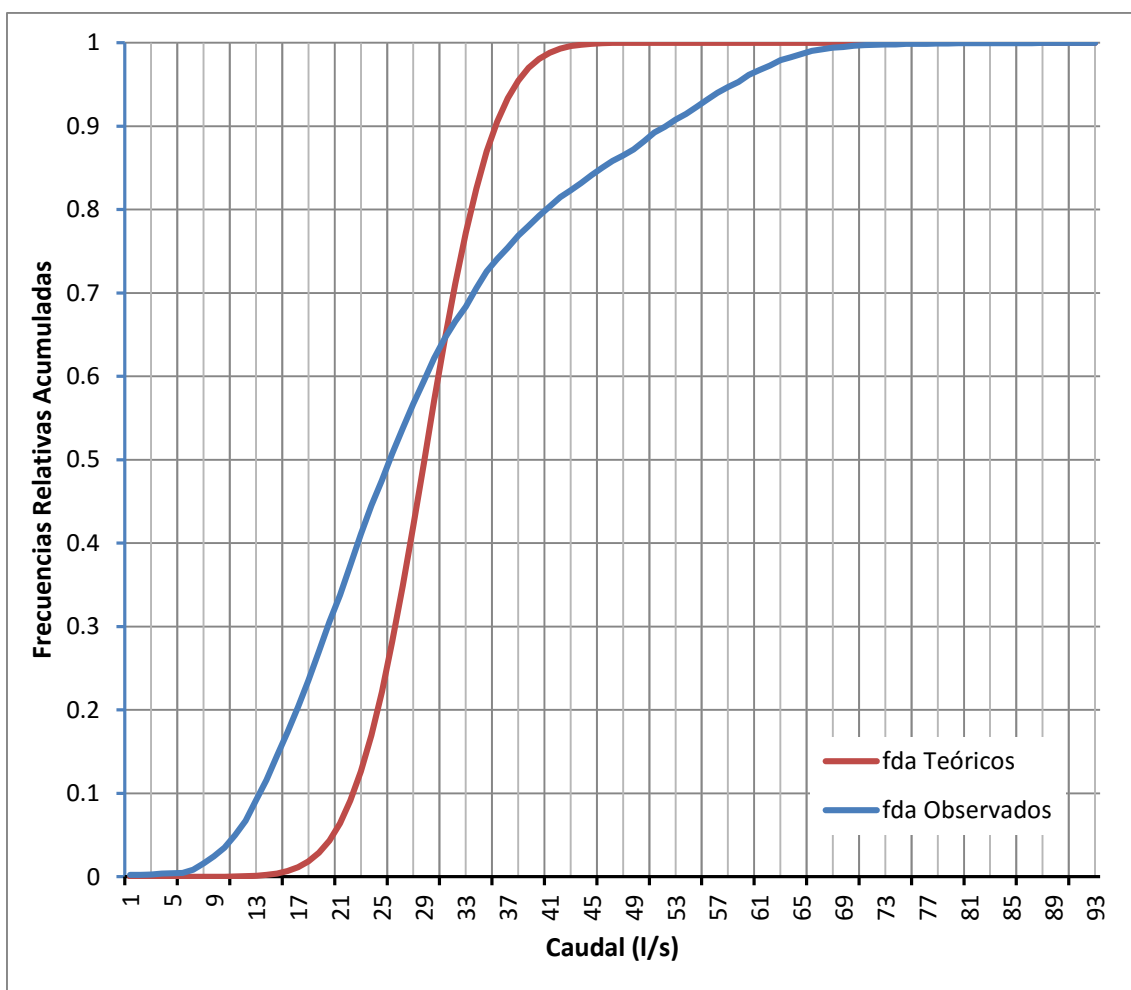


Media	23.25896
Desv. Estándar	4.38539
Q Clément	30.47229

JUNIO

Estadístico K-S	0.28439
Nivel de Significancia	0.05
Grado de Libertad	8640
Estadístico Tabla	0.01463
Ho	Se Rechaza

Clase	Frec.	Frec. Relativa	% acumulad	Dist Normal Teórica	FAO _i Frec Relat. Acum	FAE _i Dist Normal Teórica Acum	Abs (FAO _i - FAE _i)
0.00000	20	0.00231	0.23%	0.00000	0.00231	0.00000	0.00231
0.82913	0	0.00000	0.23%	0.00000	0.00231	0.00000	0.00231
1.65826	2	0.00023	0.26%	0.00000	0.00255	0.00000	0.00255
2.48739	11	0.00127	0.38%	0.00000	0.00382	0.00000	0.00382
...
18.24087	322	0.03727	41.07%	0.04727	0.41065	0.12625	0.28439
19.07000	300	0.03472	44.54%	0.05765	0.44537	0.16974	0.27563
19.89913	259	0.02998	47.54%	0.06783	0.47535	0.22180	0.25355
20.72826	276	0.03194	50.73%	0.07702	0.50729	0.28194	0.22535
...
73.79261	0	0.00000	99.98%	0.00000	0.99977	1.00000	-0.00023
74.62174	0	0.00000	99.98%	0.00000	0.99977	1.00000	-0.00023
75.45087	0	0.00000	99.98%	0.00000	0.99977	1.00000	-0.00023
76.28000	2	0.00023	100.00%	0.00000	1.00000	1.00000	0.00000

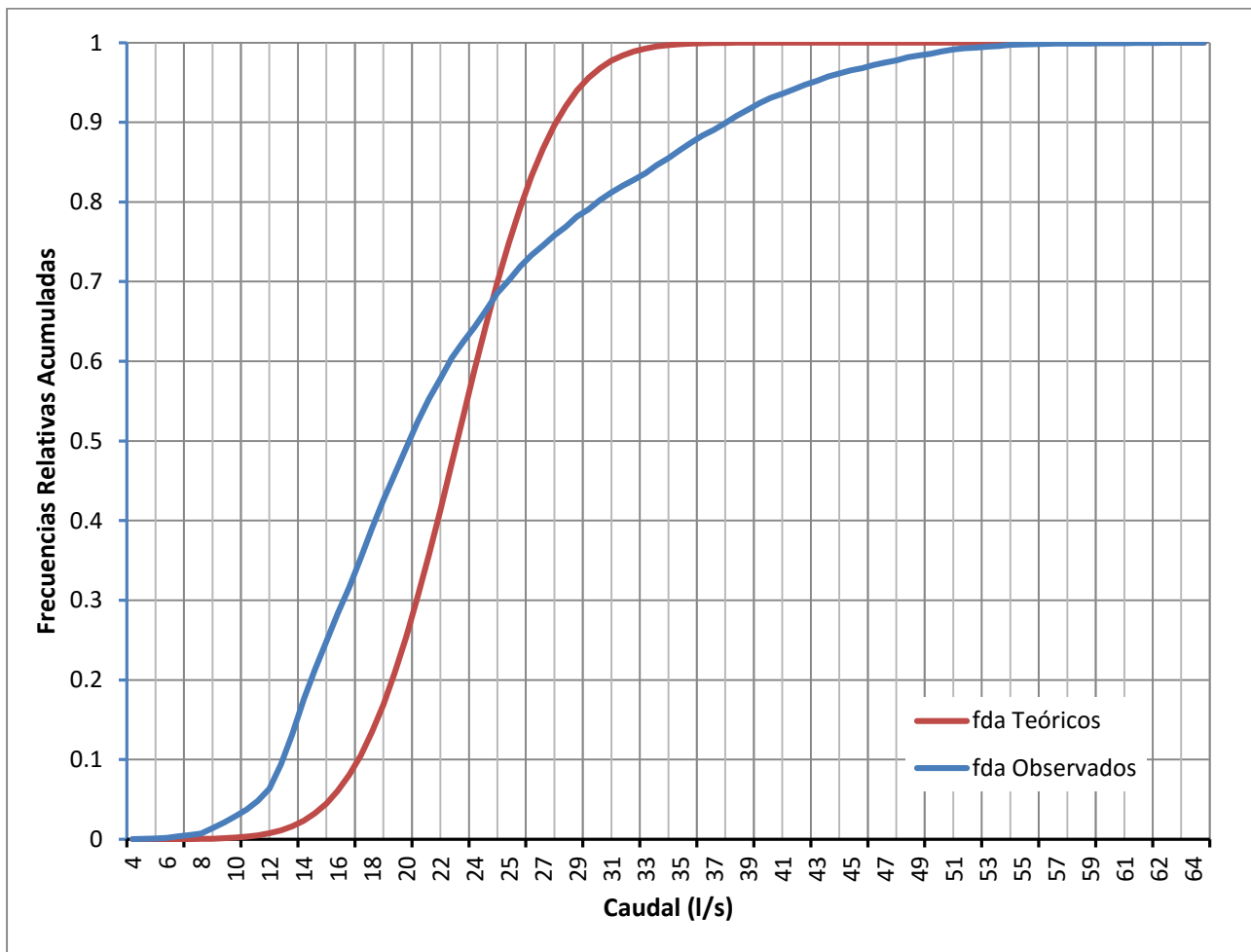


Media	22.55816
Desv. Estándar	4.39083
Q Clément	29.78043

JULIO

Estadístico K-S	0.25677
Nivel de Significancia	0.05000
Grado de Libertad	8928
Estadístico Tabla	0.01439
Ho	Se Rechaza

Clase	Frec.	Frec. Relativa	% acumulad	Dist Normal Teórica	FAO _i	FAE _i	Abs (FAO _i - FAE _i)
					Frec Relat. Acum	Dist Normal Teórica Acum	
4.08000	1.00000	0.00011	0.01%	0.00001	0.00011	0.00001	0.00010
4.72894	5.00000	0.00056	0.07%	0.00002	0.00067	0.00002	0.00065
5.37787	4.00000	0.00045	0.11%	0.00004	0.00112	0.00005	0.00107
...
50.80340	21.00000	0.00235	99.13%	0.00000	0.99126	1.00000	-0.00874
51.45234	14.00000	0.00157	99.28%	0.00000	0.99283	1.00000	-0.00717
52.10128	9.00000	0.00101	99.38%	0.00000	0.99384	1.00000	-0.00616
...
63.13319	1.00000	0.00011	99.99%	0.00000	0.99989	1.00000	-0.00011
63.78213	0.00000	0.00000	99.99%	0.00000	0.99989	1.00000	-0.00011
64.43106	0.00000	0.00000	99.99%	0.00000	0.99989	1.00000	-0.00011
65.08000	1.00000	0.00011	100.00%	0.00000	1.00000	1.00000	0.00000

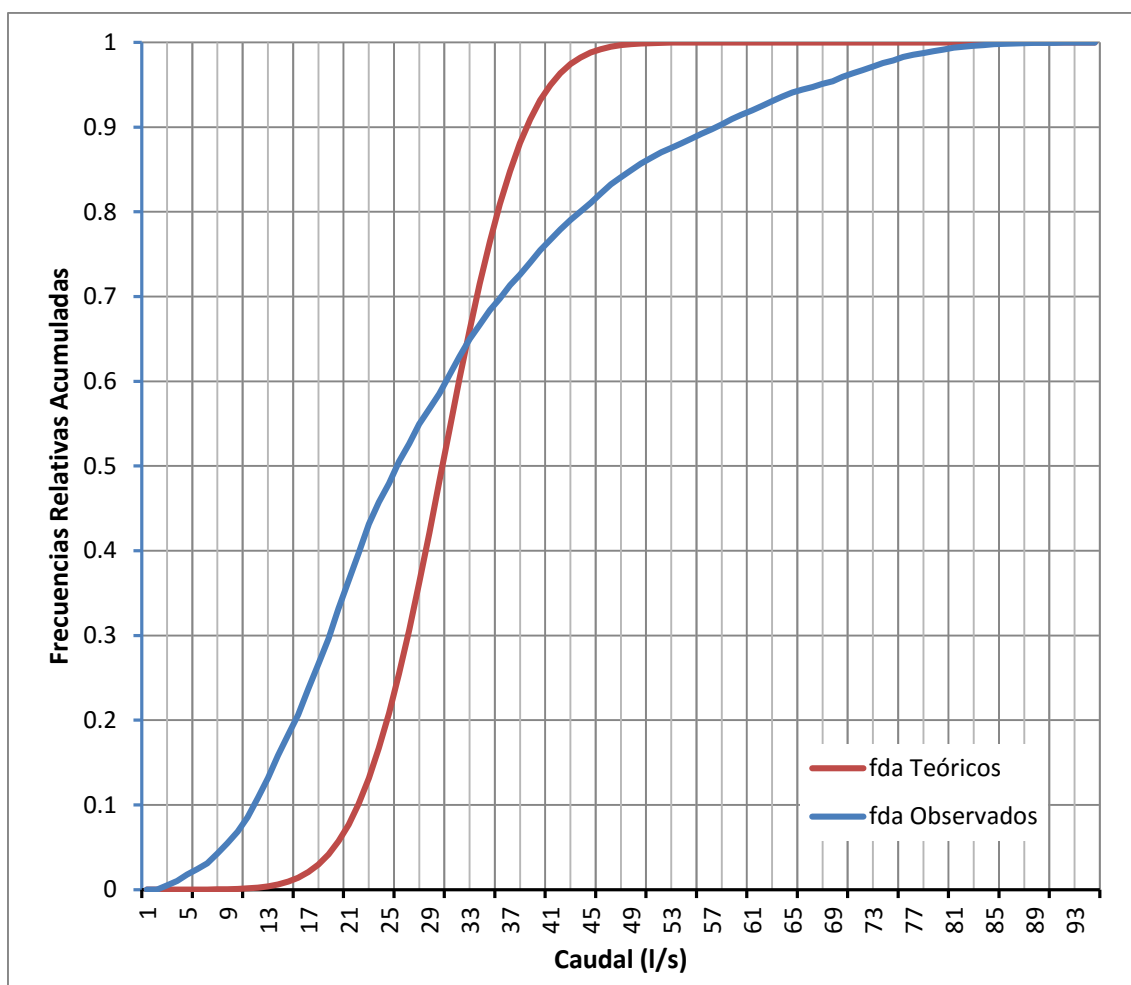


Media	23.34959
Desv. Estándar	4.41979
Q Clément	30.61951

AGOSTO

Estadístico K-S	0.30017
Nivel de Significancia	0.05
Grado de Libertad	8928
Estadístico Tabla	0.01439
Ho	Se Rechaza

Clase	Frec.	Frec. Relativa	% acumulad	Dist Normal Teórica	FAO _i	FAE _i	Abs (FAO _i , FAE _i)
					Frec Relat. Acum	Dist Normal Teórica Acum	
3.48000	1	0.00011	0.01%	0.00000	0.00011	0.00000	0.00011
4.15819	1	0.00011	0.02%	0.00001	0.00022	0.00001	0.00022
4.83638	42	0.00470	0.49%	0.00001	0.00493	0.00001	0.00491
5.51457	49	0.00549	1.04%	0.00003	0.01042	0.00003	0.01039
...
18.40021	306	0.03427	43.16%	0.04822	0.43156	0.13139	0.30017
19.07840	228	0.02554	45.71%	0.05659	0.45710	0.16693	0.29017
19.75660	200	0.02240	47.95%	0.06486	0.47950	0.20813	0.27137
20.43479	231	0.02587	50.54%	0.07262	0.50538	0.25479	0.25059
...
65.19543	2	0.00022	99.97%	0.00000	0.99966	1.00000	-0.00034
65.87362	1	0.00011	99.98%	0.00000	0.99978	1.00000	-0.00022
66.55181	1	0.00011	99.99%	0.00000	0.99989	1.00000	-0.00011
67.23000	1	0.00011	100.00%	0.00000	1.00000	1.00000	0.00000

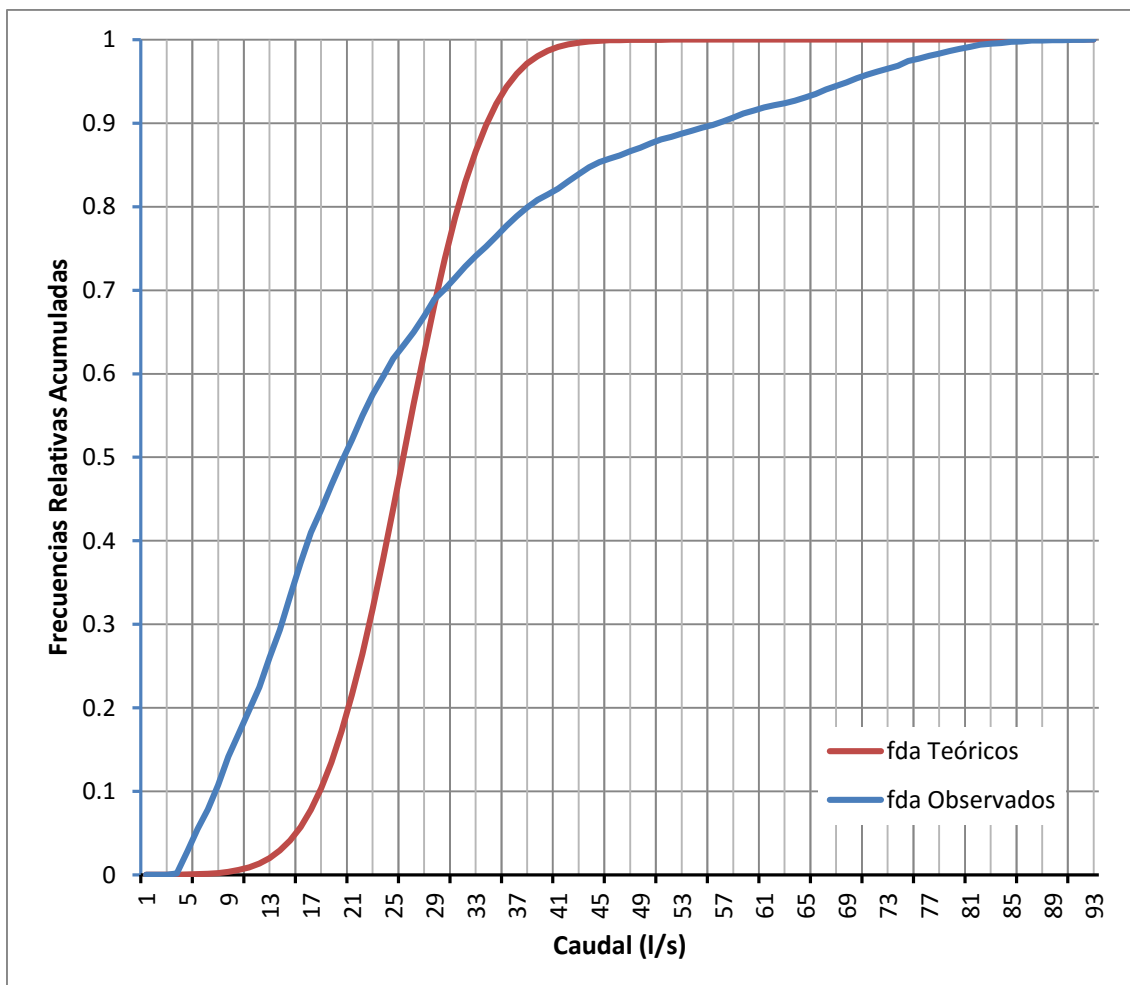


Media	17.1102
Desv. Estándar	4.09242
Q Clément	23.8416

SEPTIEMBRE

Estadístico K-S	0.33353
Nivel de Significancia	0.05
Grado de Libertad	8640
Estadístico Tabla	0.01463
Ho	Se Rechaza

Clase	Frec.	Frec. Relativa	% acumulad	Dist Normal Teórica	FAO _i	FAE _i	Abs (FAO _i -FAE _i)
					Frec Relat. Acum	Dist Normal Teórica Acum	
0.95000	2	0.00023	0.02%	0.00004	0.00023	0.00004	0.00019
1.59685	0	0.00000	0.02%	0.00007	0.00023	0.00008	0.00016
2.24370	0	0.00000	0.02%	0.00013	0.00023	0.00014	0.00009
2.89054	12	0.00139	0.16%	0.00023	0.00162	0.00026	0.00136
...
18.41489	166	0.01921	66.91%	0.09265	0.66910	0.62506	0.04404
19.06174	175	0.02025	68.94%	0.08701	0.68935	0.68327	0.00608
19.70859	102	0.01181	70.12%	0.07969	0.70116	0.73726	-0.03610
20.35543	115	0.01331	71.45%	0.07118	0.71447	0.78610	-0.07164
...
58.51946	1	0.00012	99.95%	0.00000	0.99954	1.00000	-0.00046
59.16630	2	0.00023	99.98%	0.00000	0.99977	1.00000	-0.00023
59.81315	0	0.00000	99.98%	0.00000	0.99977	1.00000	-0.00023
60.46000	2	0.00023	100.00%	0.00000	1.00000	1.00000	0.00000

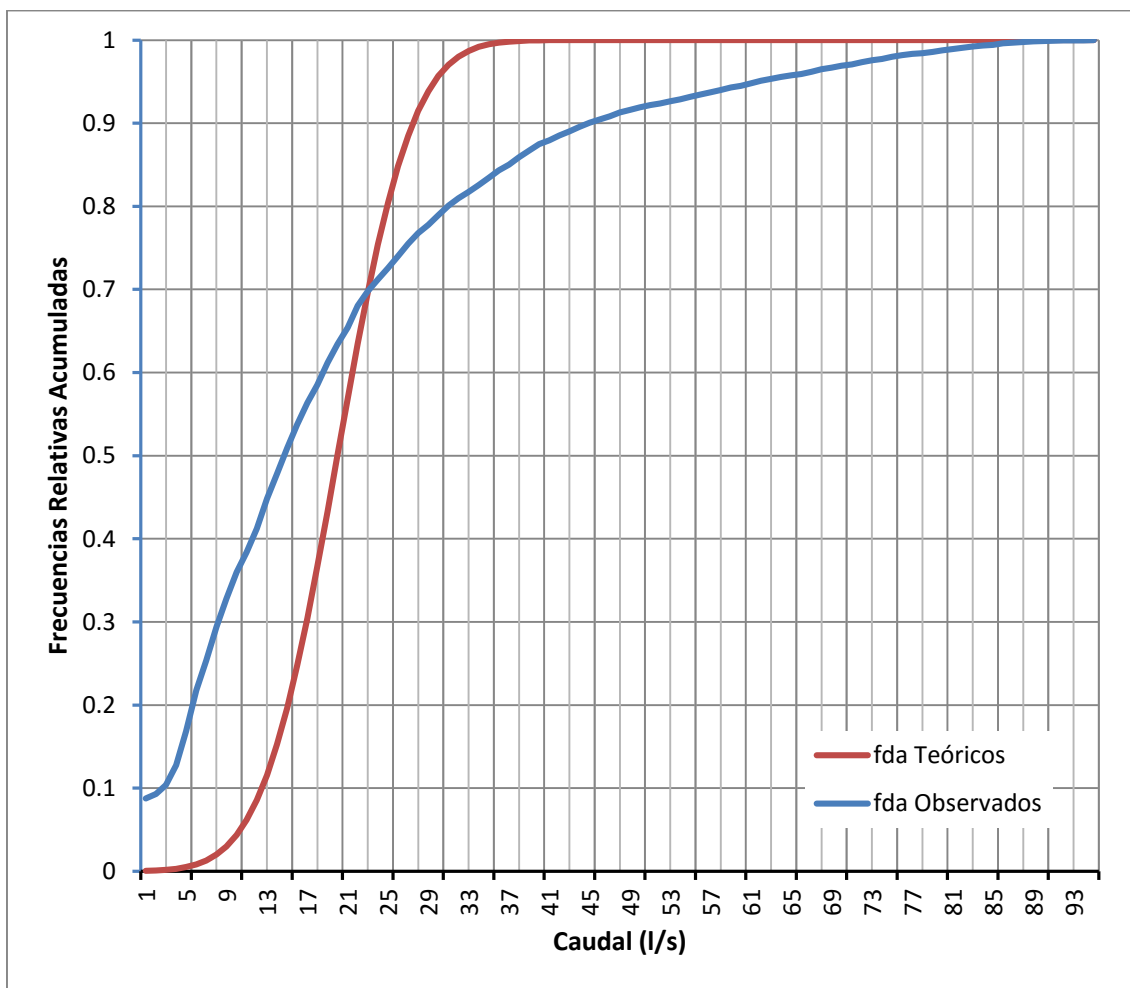


Media	10.99498
Desv. Estándar	3.38322
Q Clément	16.55989

OCTUBRE

Estadístico K-S	0.33286
Nivel de Significancia	0.05
Grado de Libertad	8928
Estadístico Tabla	0.01439
Ho	Se Rechaza

Clase	Frec.	Frec. Relativa	% acumulad	Dist Normal Teórica	FAO _i	FAE _i	Abs (FAO _i -FAE _i)
					Frec Relat. Acum	Dist Normal Teórica Acum	
0.00000	781	0.08748	8.75%	0.00060	0.08748	0.00058	0.08690
0.57904	51	0.00571	9.32%	0.00103	0.09319	0.00104	0.09215
1.15809	94	0.01053	10.37%	0.00172	0.10372	0.00182	0.10190
1.73713	213	0.02386	12.76%	0.00279	0.12758	0.00311	0.12447
...
18.52936	68	0.00762	81.73%	0.00988	0.81732	0.98703	-0.16971
19.10840	74	0.00829	82.56%	0.00665	0.82560	0.99176	-0.16616
19.68745	80	0.00896	83.46%	0.00435	0.83457	0.99490	-0.16034
20.26649	78	0.00874	84.33%	0.00276	0.84330	0.99693	-0.15363
...
52.69287	3	0.00034	99.94%	0.00000	0.99944	1.00000	-0.00056
53.27191	1	0.00011	99.96%	0.00000	0.99955	1.00000	-0.00045
53.85096	1	0.00011	99.97%	0.00000	0.99966	1.00000	-0.00034
54.43000	3	0.00034	100.00%	0.00000	1.00000	1.00000	0.00000

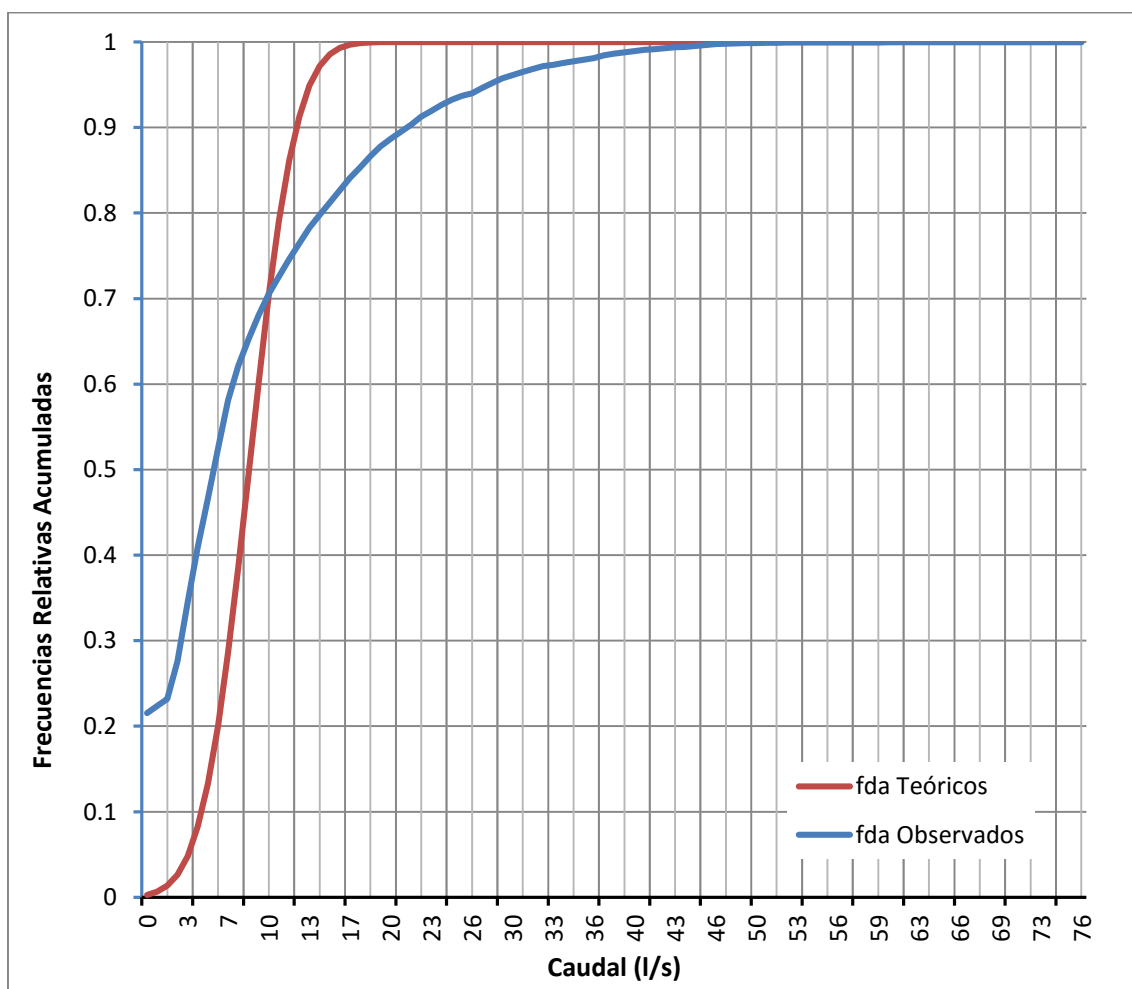


Media	8.29447
Desv. Estándar	2.99992
Q Clément	13.22890

NOVIEMBRE

Estadístico K-S	0.33347
Nivel de Significancia	0.05
Grado de Libertad	8640
Estadístico Tabla	0.01463
Ho	Se Rechaza

Clase	Frec.	Frec. Relativa	% acumulad	Dist Normal Teórica	Frec Relat. Acum	Dist Normal Teórica Acum	Abs (FAO _i - FAE _i)
0.00000	1861.0000	0.21539	21.54%	0.00291	0.21539	0.00285	0.21255
0.82511	70.00000	0.00810	22.35%	0.00599	0.22350	0.00639	0.21711
1.65022	71.00000	0.00822	23.17%	0.01144	0.23171	0.01339	0.21833
2.47533	383.00000	0.04433	27.60%	0.02026	0.27604	0.02620	0.24984
...
18.15239	113.00000	0.01308	86.64%	0.00060	0.86644	0.99949	-0.13306
18.97750	99.00000	0.01146	87.79%	0.00023	0.87789	0.99982	-0.12192
19.80261	78.00000	0.00903	88.69%	0.00008	0.88692	0.99994	-0.11302
20.62772	72.00000	0.00833	89.53%	0.00003	0.89525	0.99998	-0.10473
21.45283	69.00000	0.00799	90.32%	0.00001	0.90324	0.99999	-0.09675
...
73.43467	0.00000	0.00000	99.99%	0.00000	0.99988	1.00000	-0.00012
74.25978	0.00000	0.00000	99.99%	0.00000	0.99988	1.00000	-0.00012
75.08489	0.00000	0.00000	99.99%	0.00000	0.99988	1.00000	-0.00012
75.91000	1.00000	0.00012	21.54%	0.00000	1.00000	1.00000	0.00000

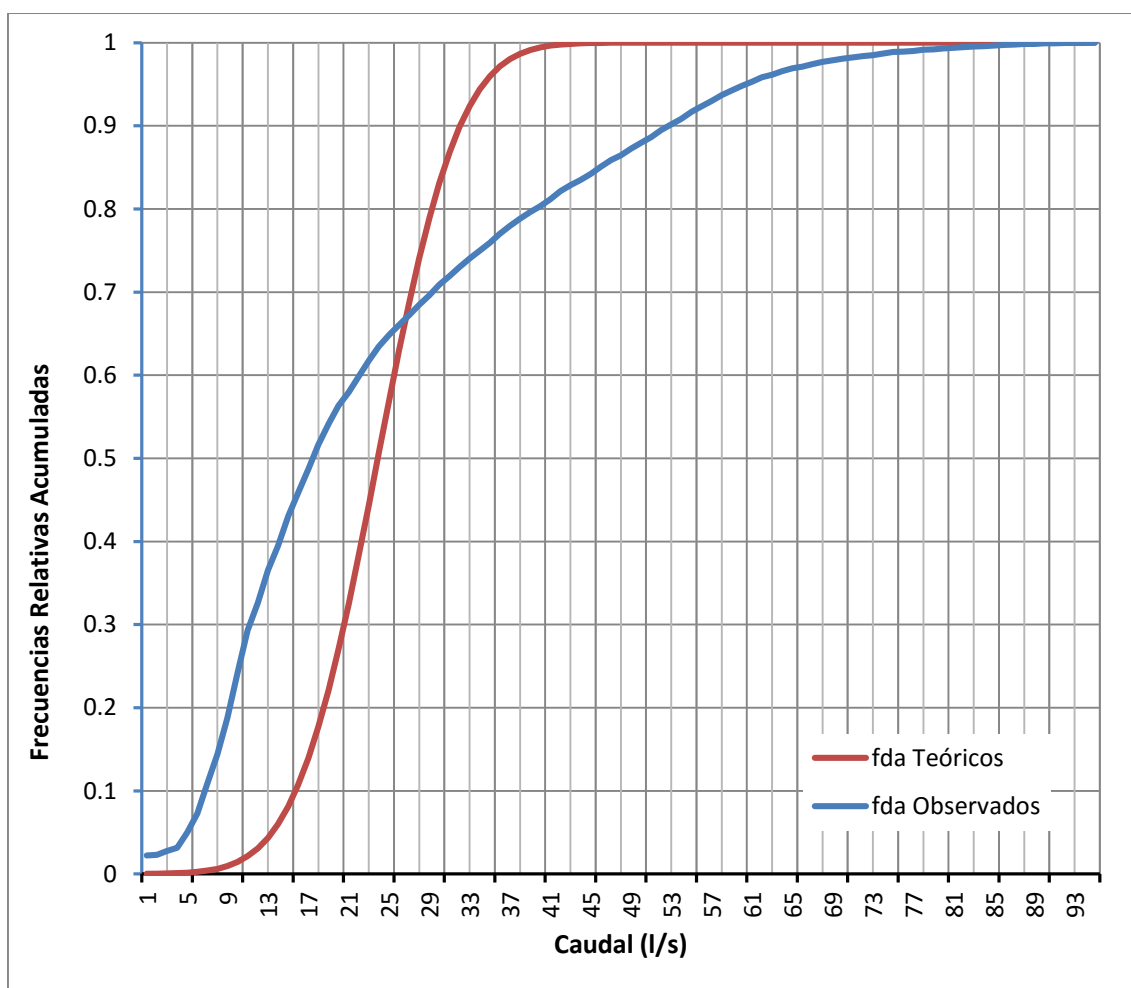


Media	13.05015
Desv. Estándar	3.62617
Q Clément	19.01466

DICIEMBRE

Estadístico K-S	0.35126
Nivel de Significancia	0.05
Grado de Libertad	8928
Estadístico Tabla	0.01439
Ho	Se Rechaza

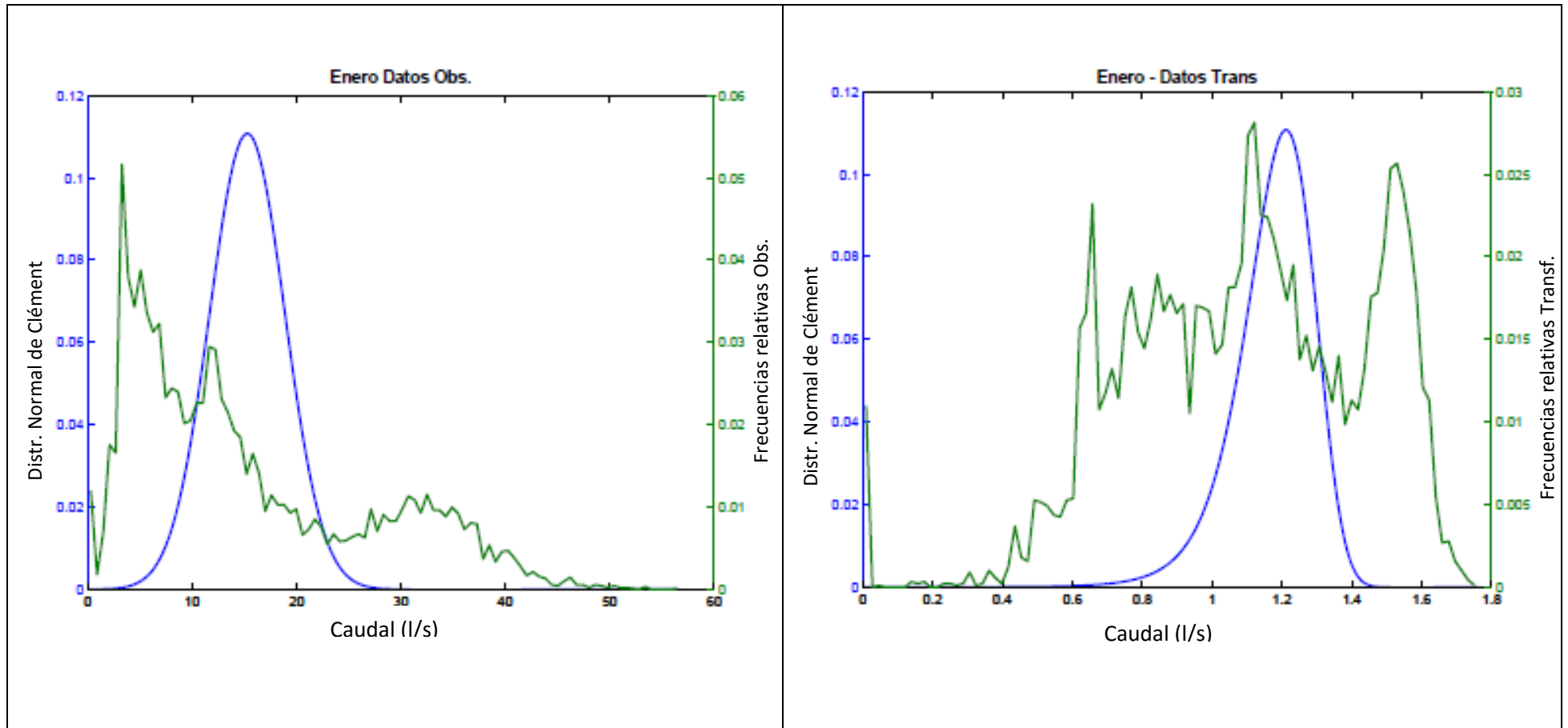
Clase	Frec.	Frec. Relativa	% acumulad	Dist Normal Teórica	FAO _i	FAE _i	Abs (FAO _i - FAE _i)
					Frec Relat. Acum	Dist Normal Teórica Acum	
0.00000	197	0.02207	2.21%	0.00017	0.02207	0.00016	0.02191
0.57000	10	0.00112	2.32%	0.00029	0.02319	0.00029	0.02290
1.14000	40	0.00448	2.77%	0.00050	0.02767	0.00051	0.02715
1.71000	35	0.00392	3.16%	0.00083	0.03159	0.00088	0.03070
...
18.81000	80	0.00896	74.96%	0.03116	0.74955	0.94390	-0.19435
19.38000	86	0.00963	75.92%	0.02398	0.75918	0.95956	-0.20038
19.95000	98	0.01098	77.02%	0.01800	0.77016	0.97147	-0.20131
20.52000	84	0.00941	77.96%	0.01318	0.77957	0.98030	-0.20073
21.09000	77	0.00862	78.82%	0.00942	0.78819	0.98669	-0.19850
...
51.87000	4	0.00045	99.98%	0.00000	0.99978	1.00000	-0.00022
52.44000	0	0.00000	99.98%	0.00000	0.99978	1.00000	-0.00022
53.01000	0	0.00000	99.98%	0.00000	0.99978	1.00000	-0.00022
53.58000	2	0.00022	2.21%	0.00000	1.00000	1.00000	0.00000



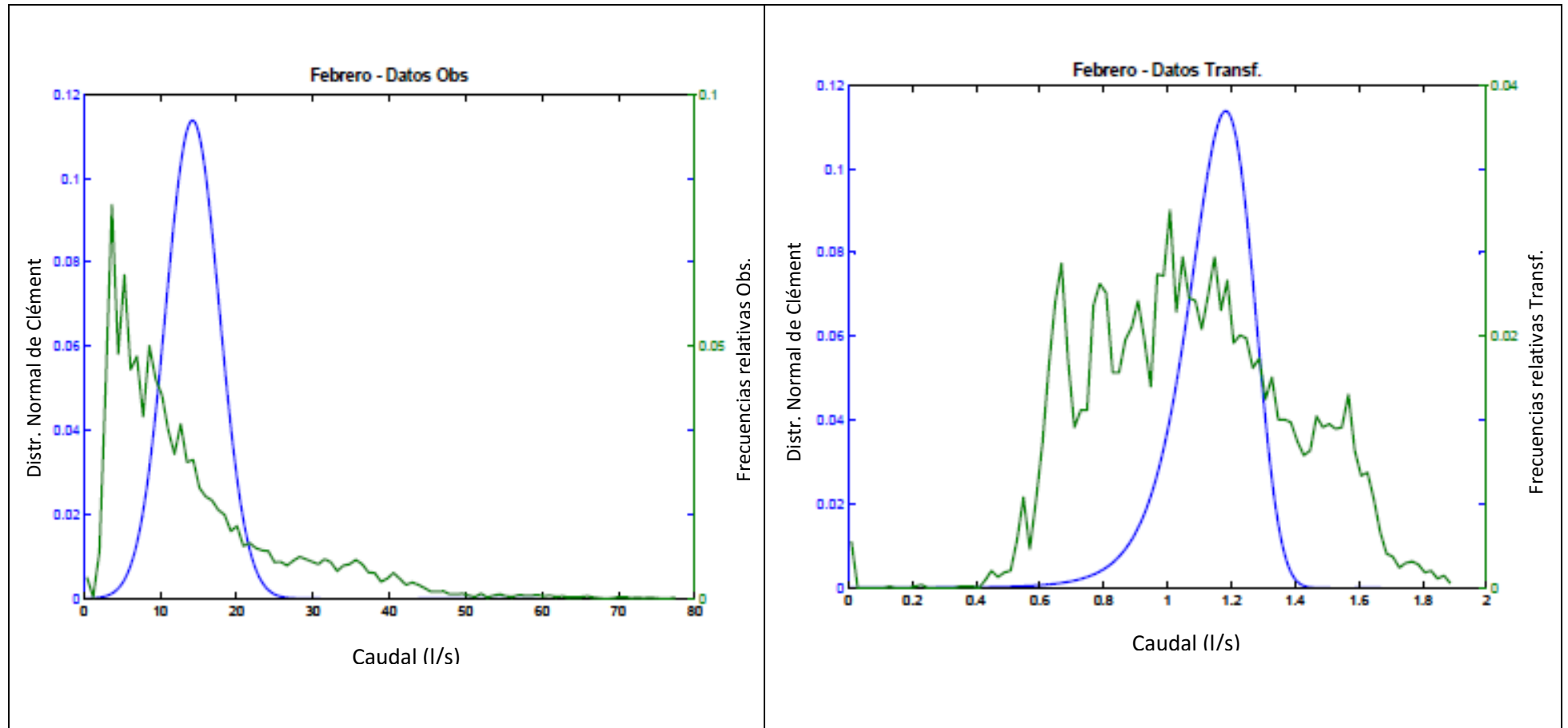
ANEXO 7: TRANSFORMACIÓN DE DATOS

Anexo 7 - Transformación de datos - Graficas Datos Observados – Datos transformados

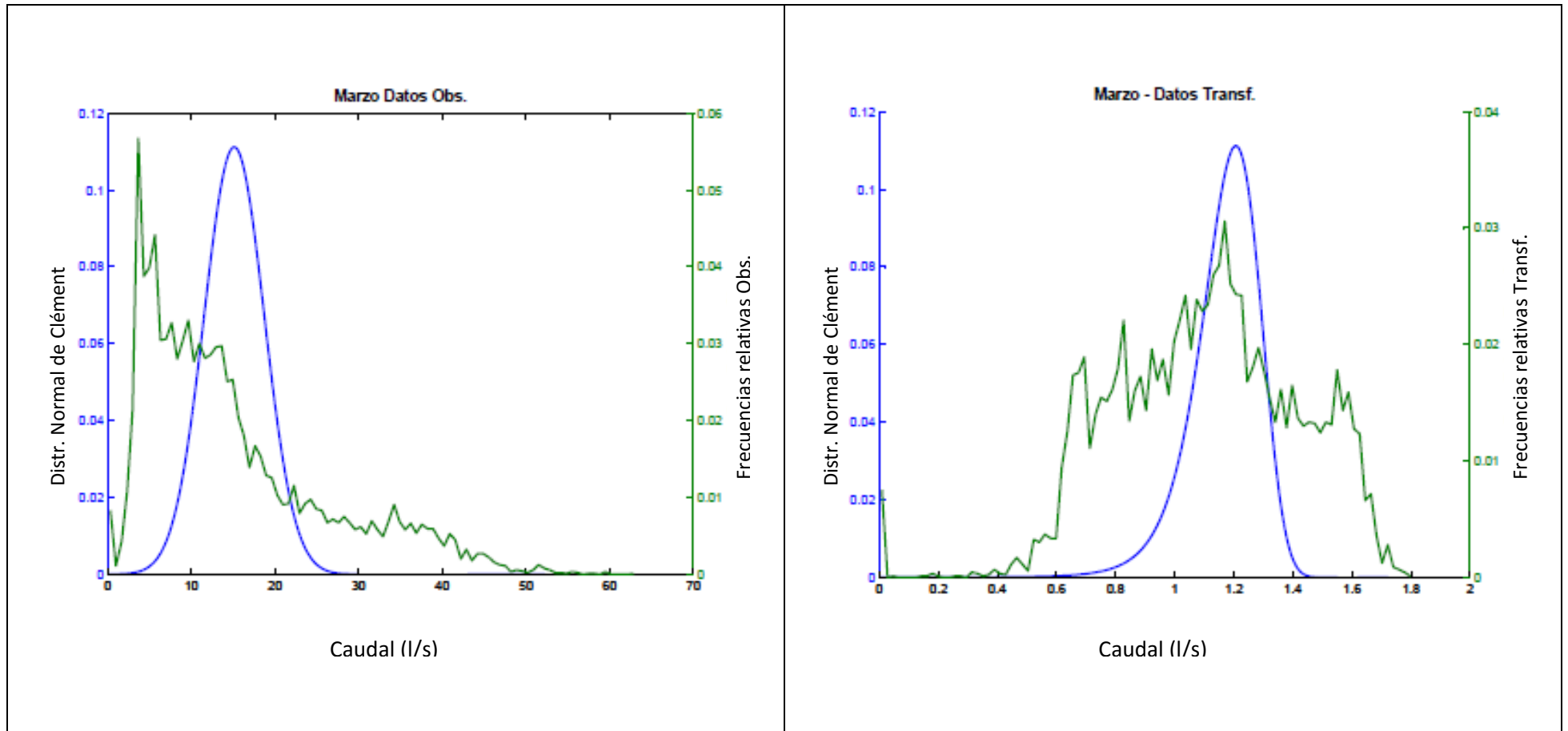
ENERO



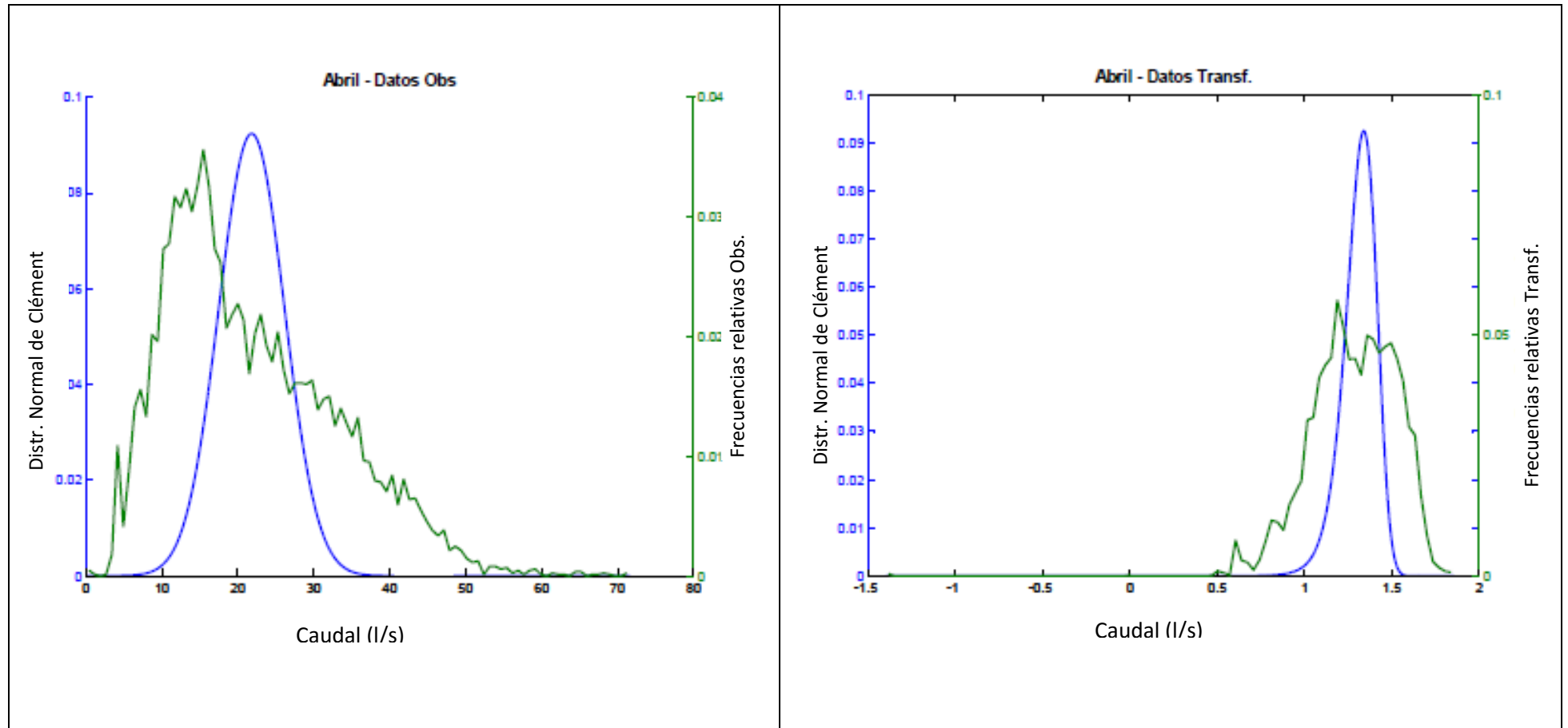
FEBRERO



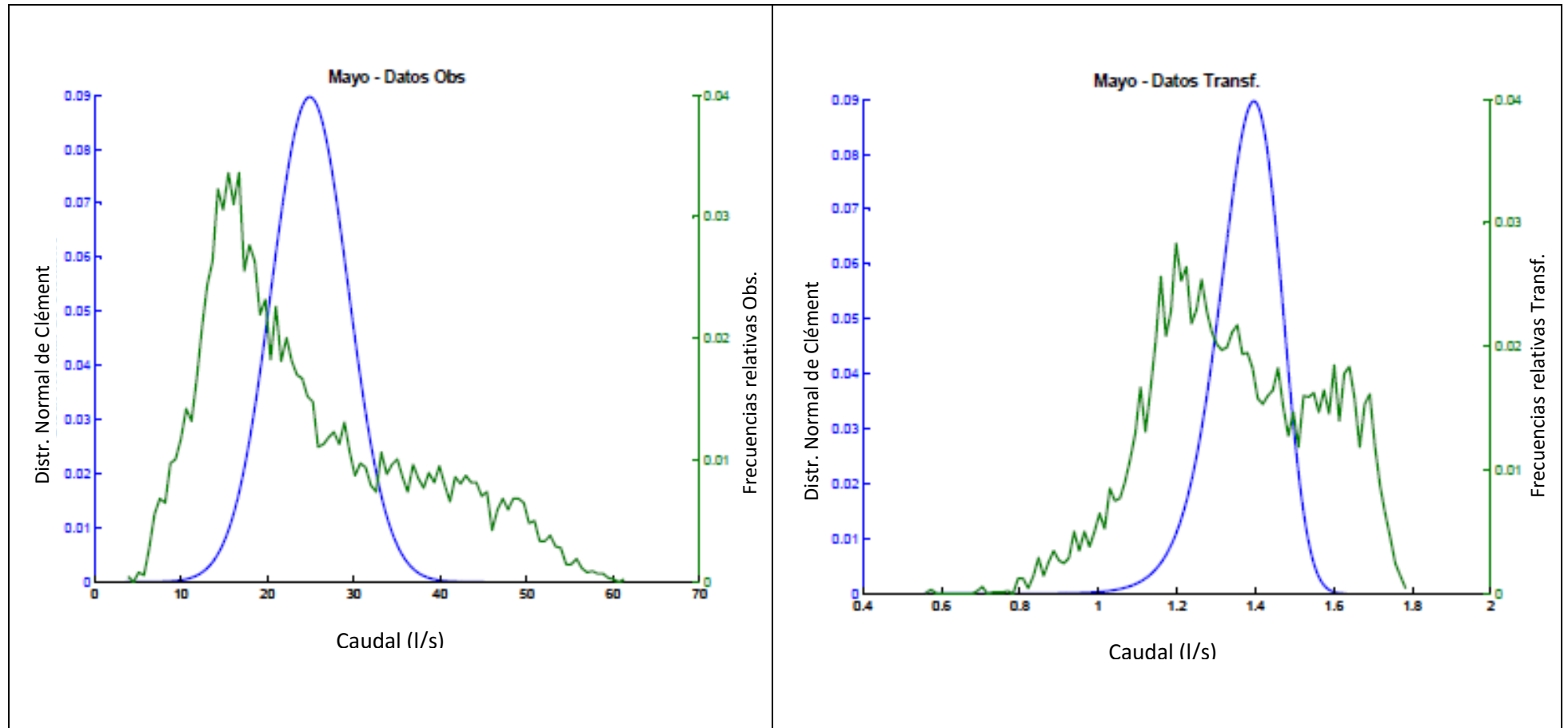
MARZO



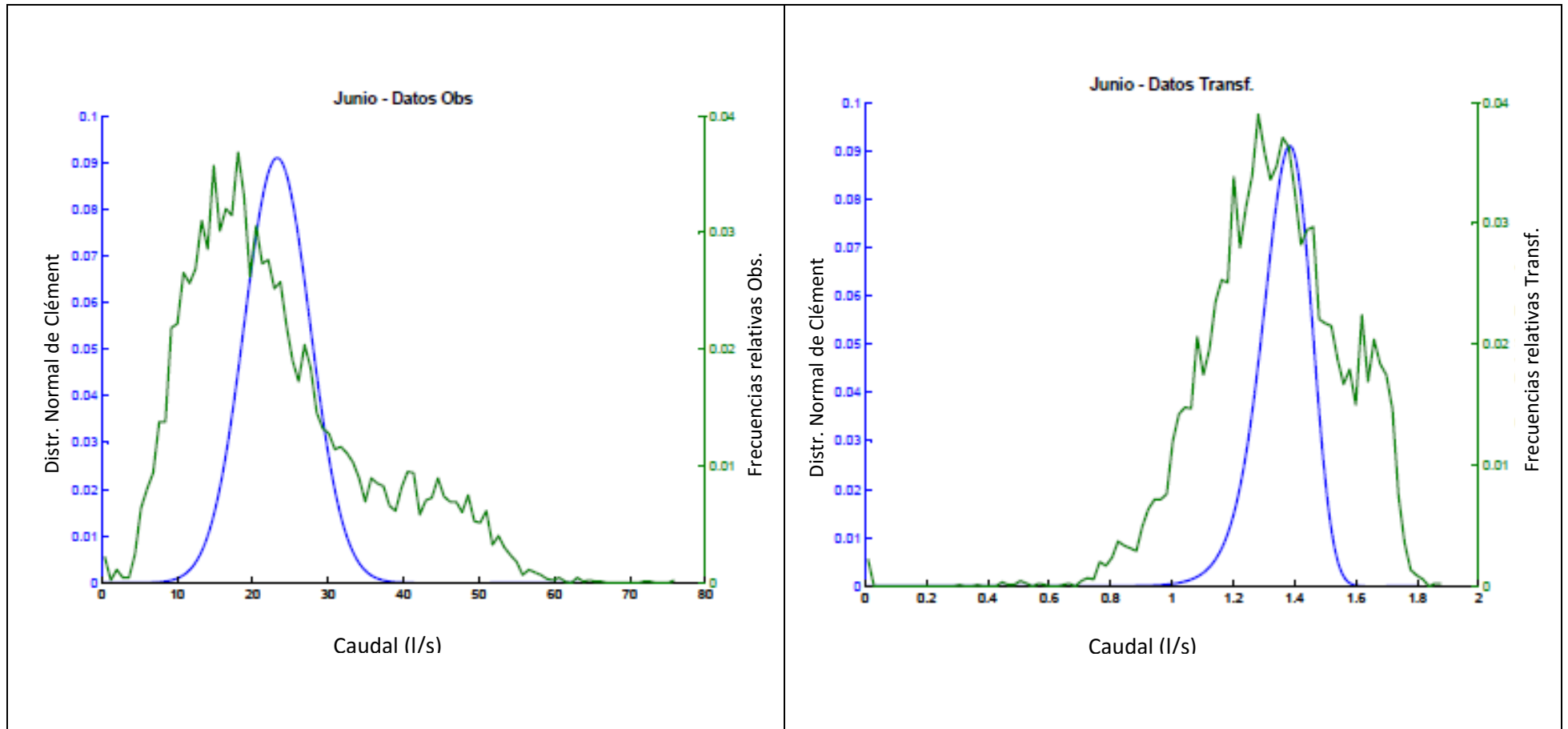
ABRIL



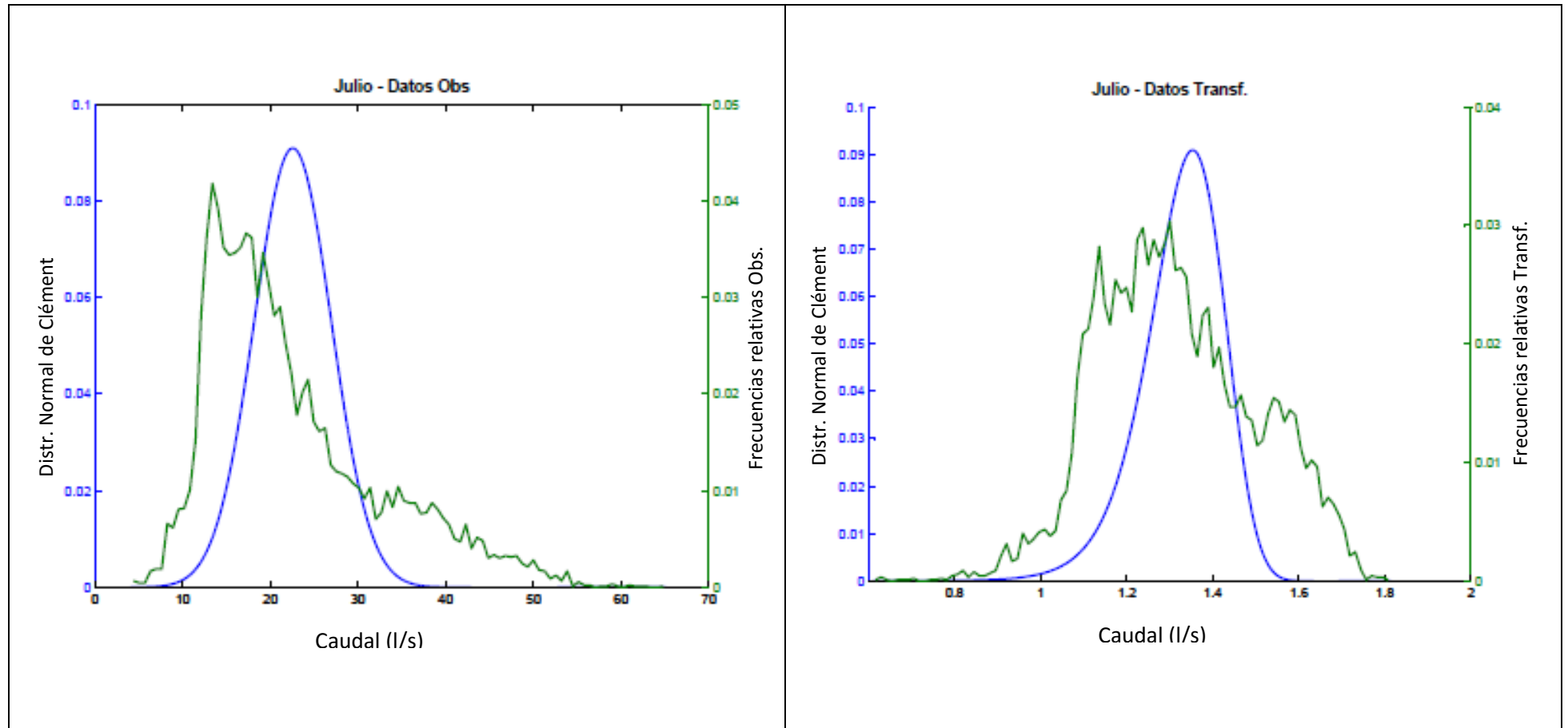
MAYO



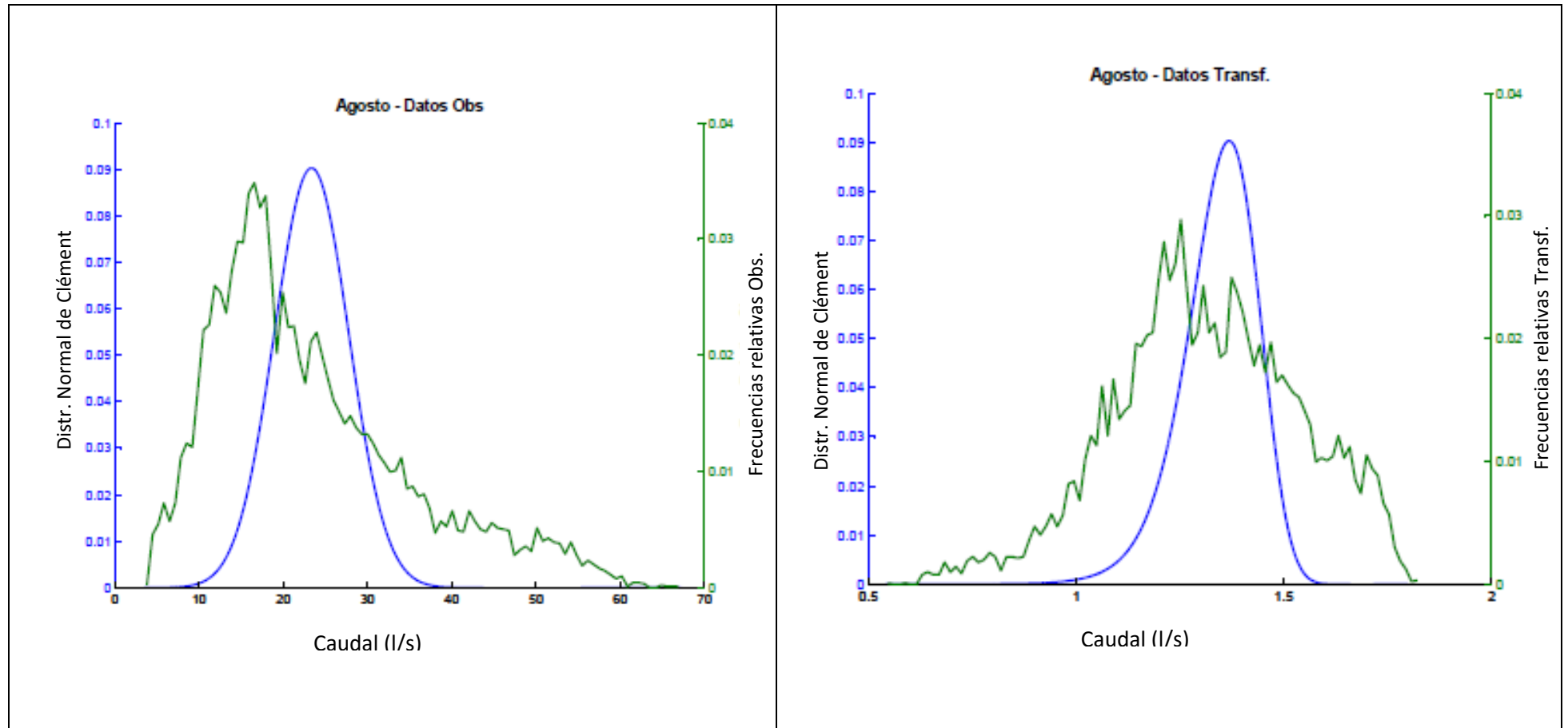
JUNIO



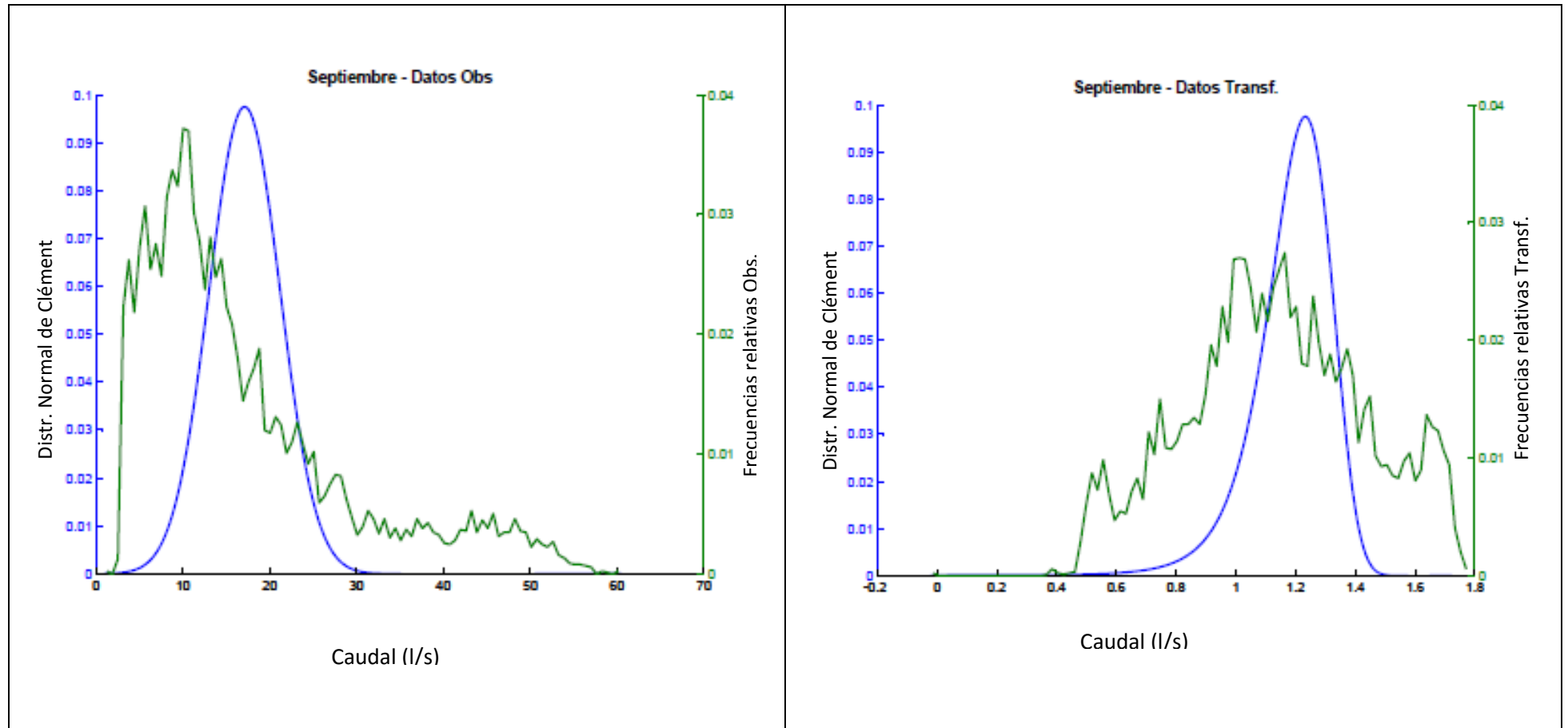
JULIO



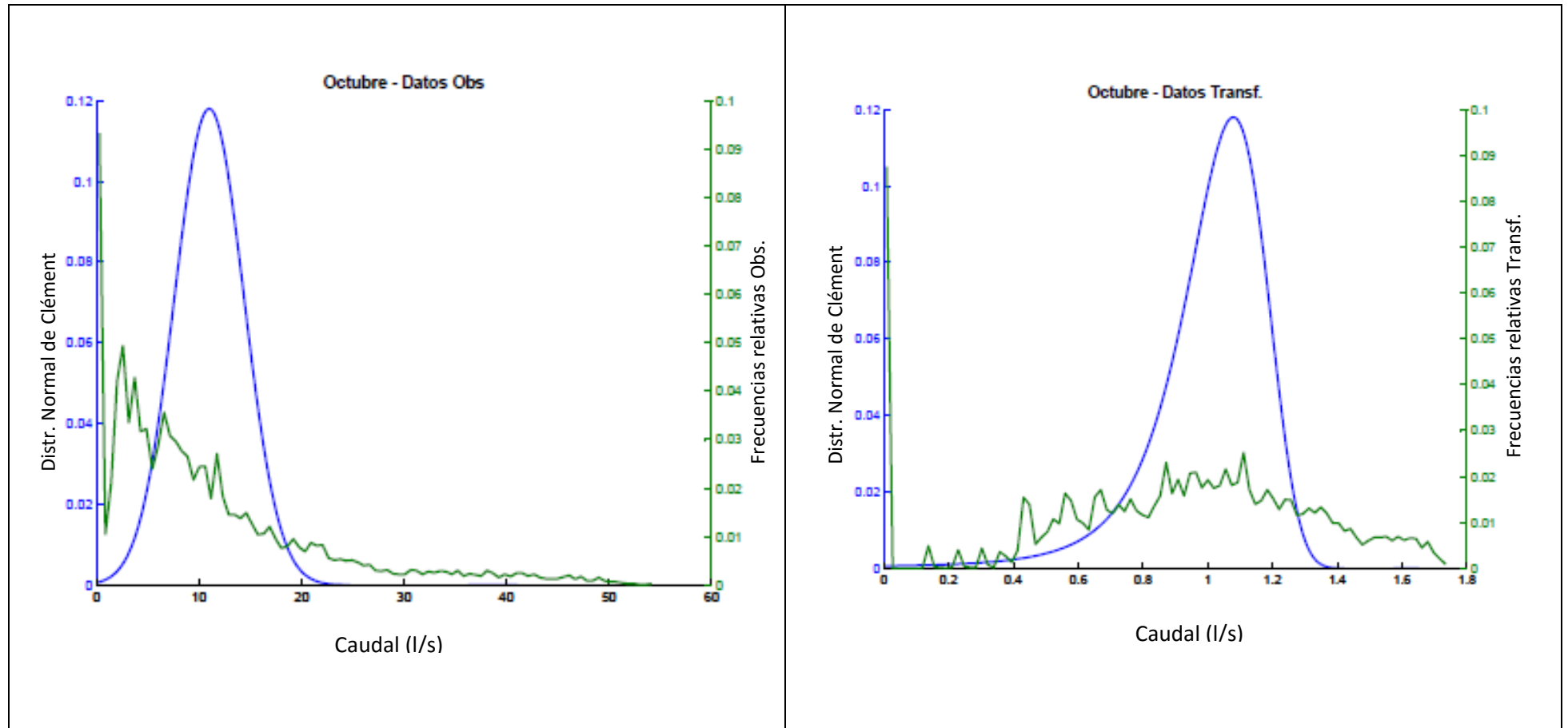
AGOSTO



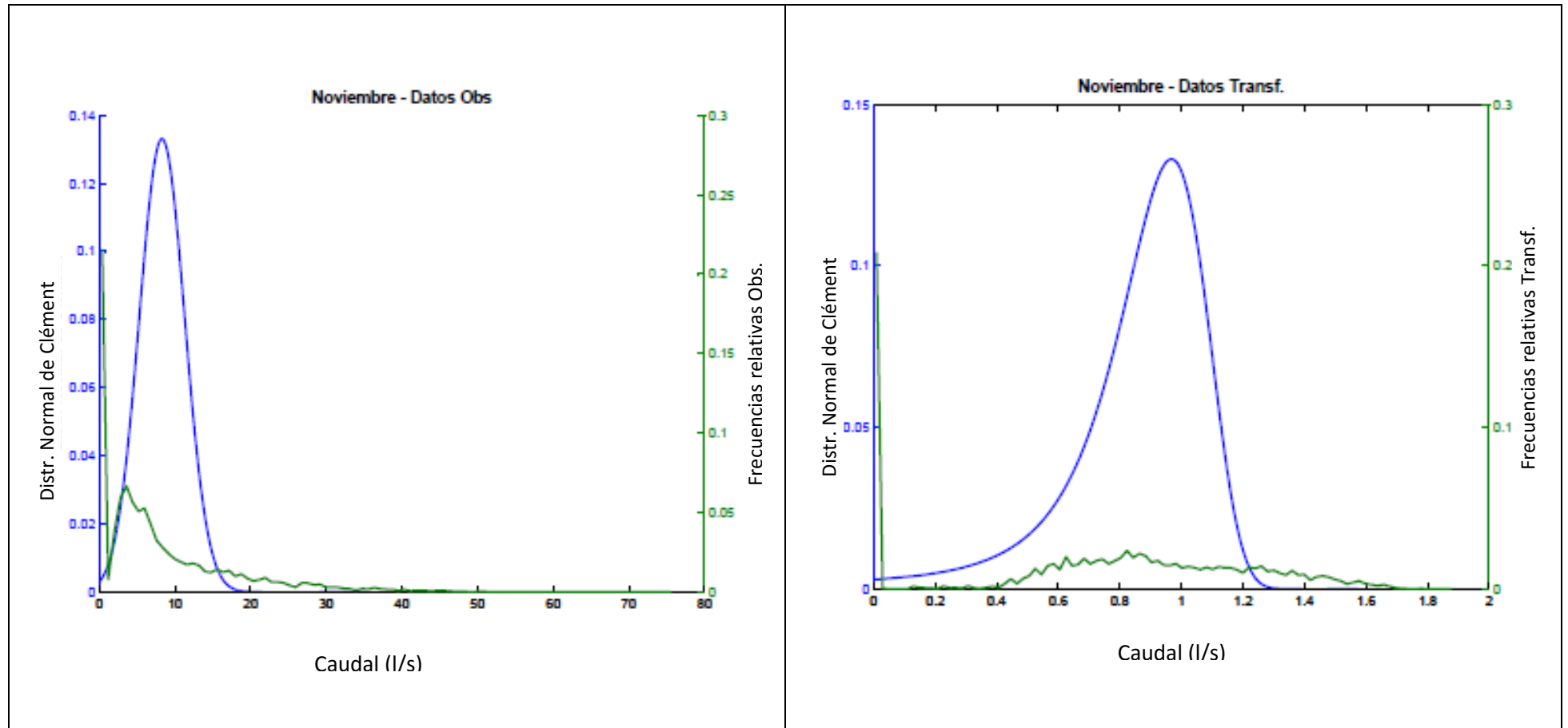
SEPTIEMBRE



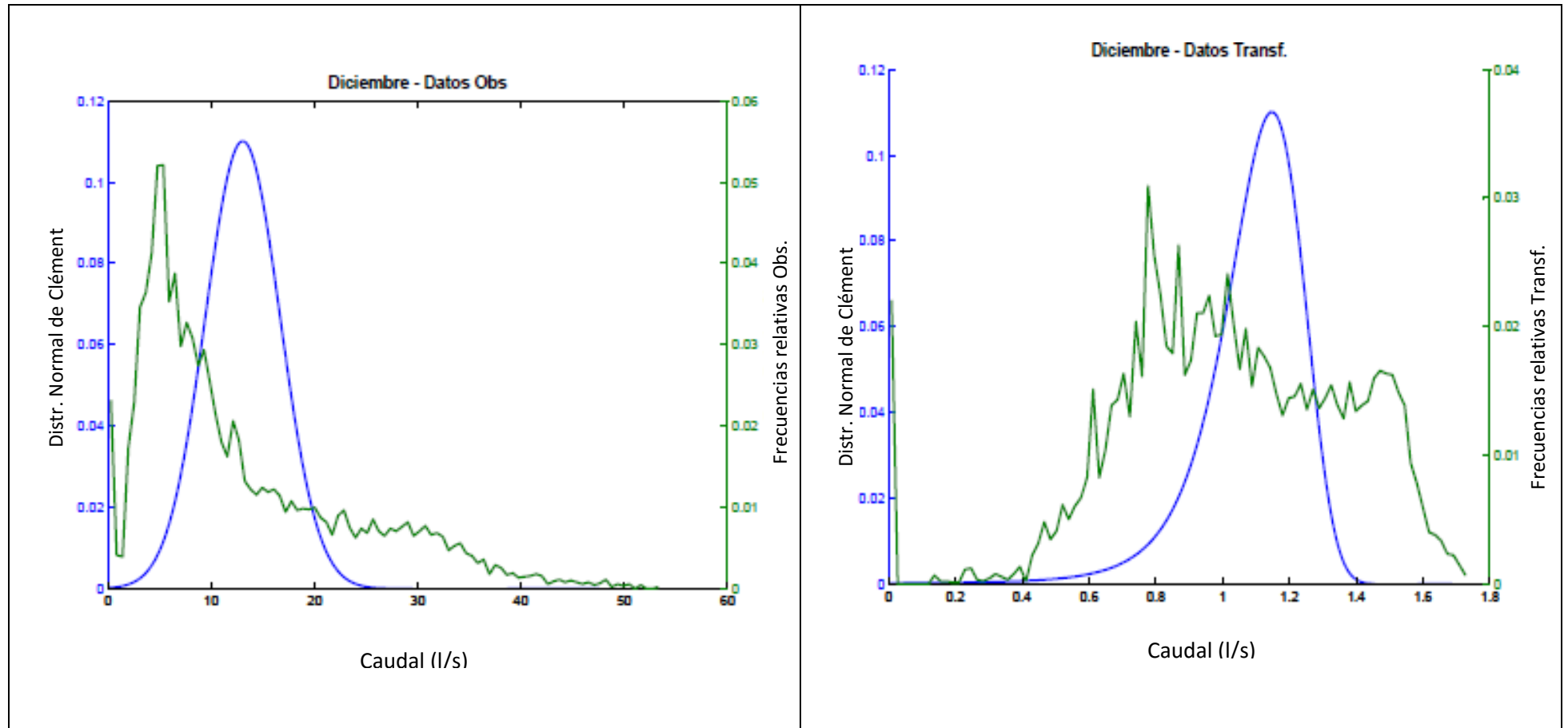
OCTUBRE



NOVIEMBRE



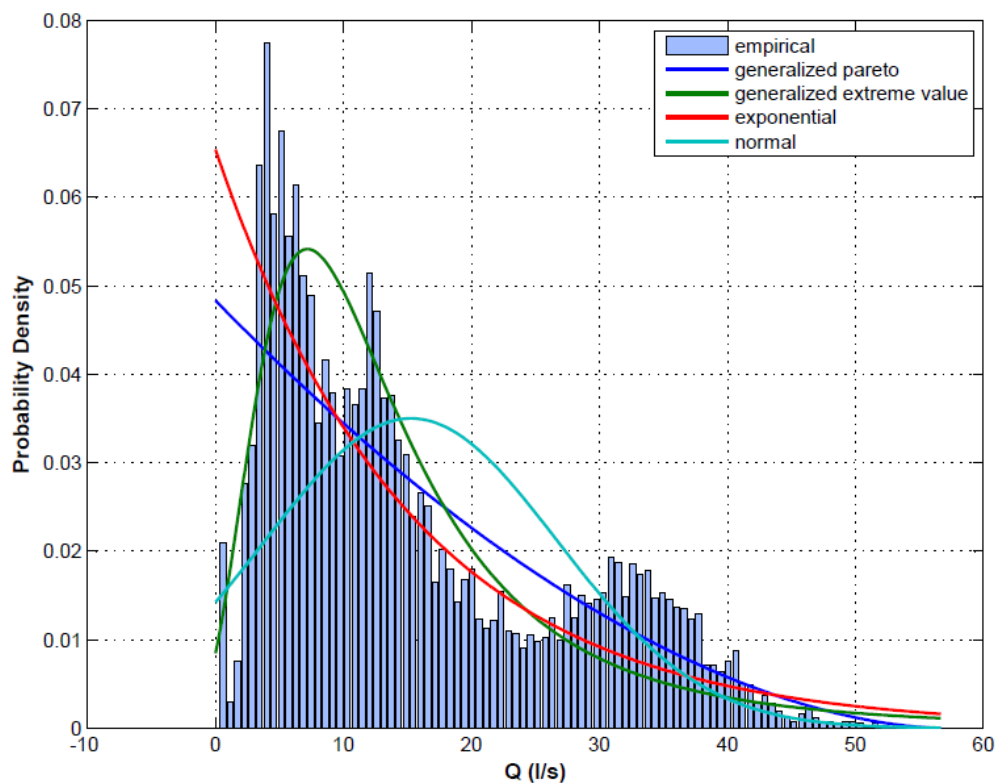
DICIEMBRE



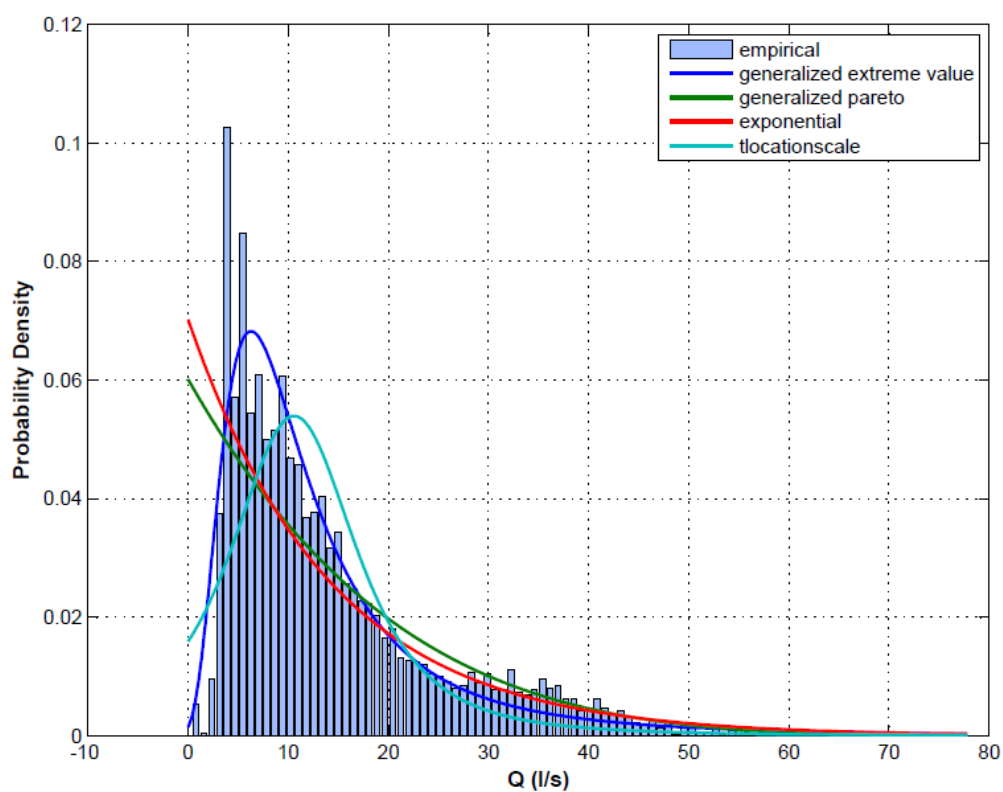
ANEXO 8: PRUEBAS DE AJUSTE PROBABILÍSTICO

Anexo 8 – Pruebas de ajuste probabilístico de los datos observados

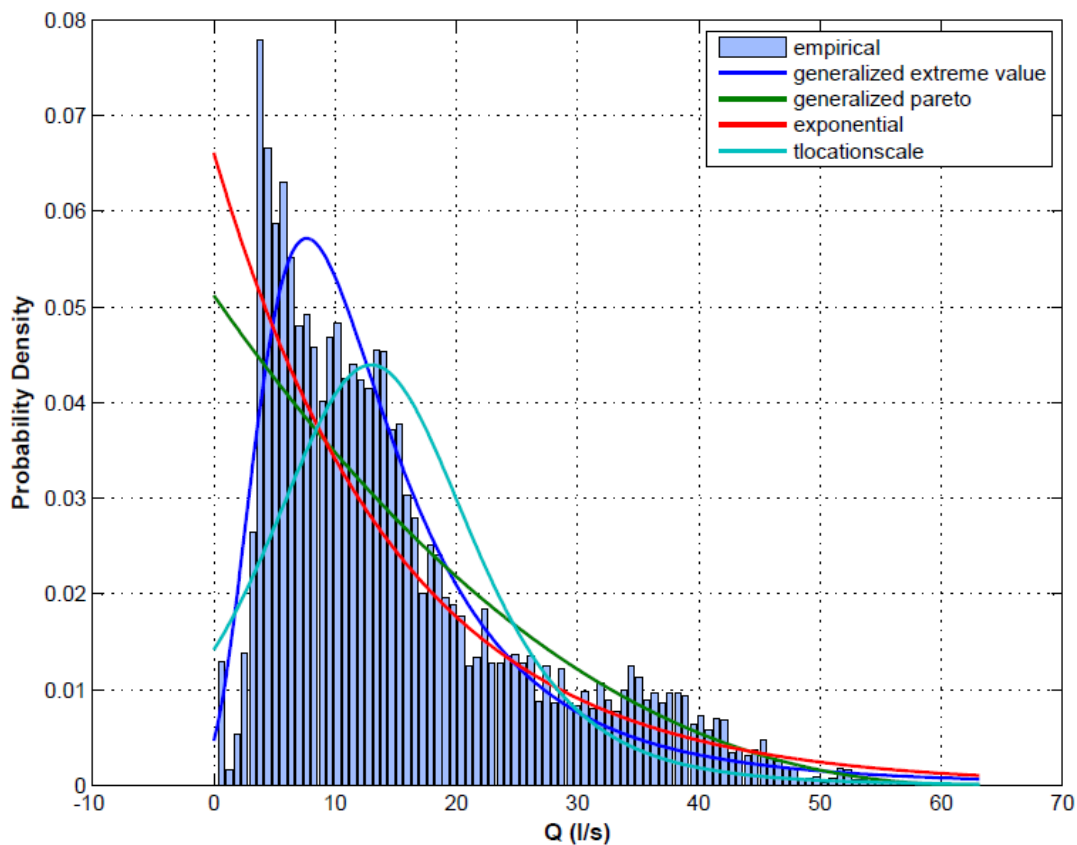
ENERO



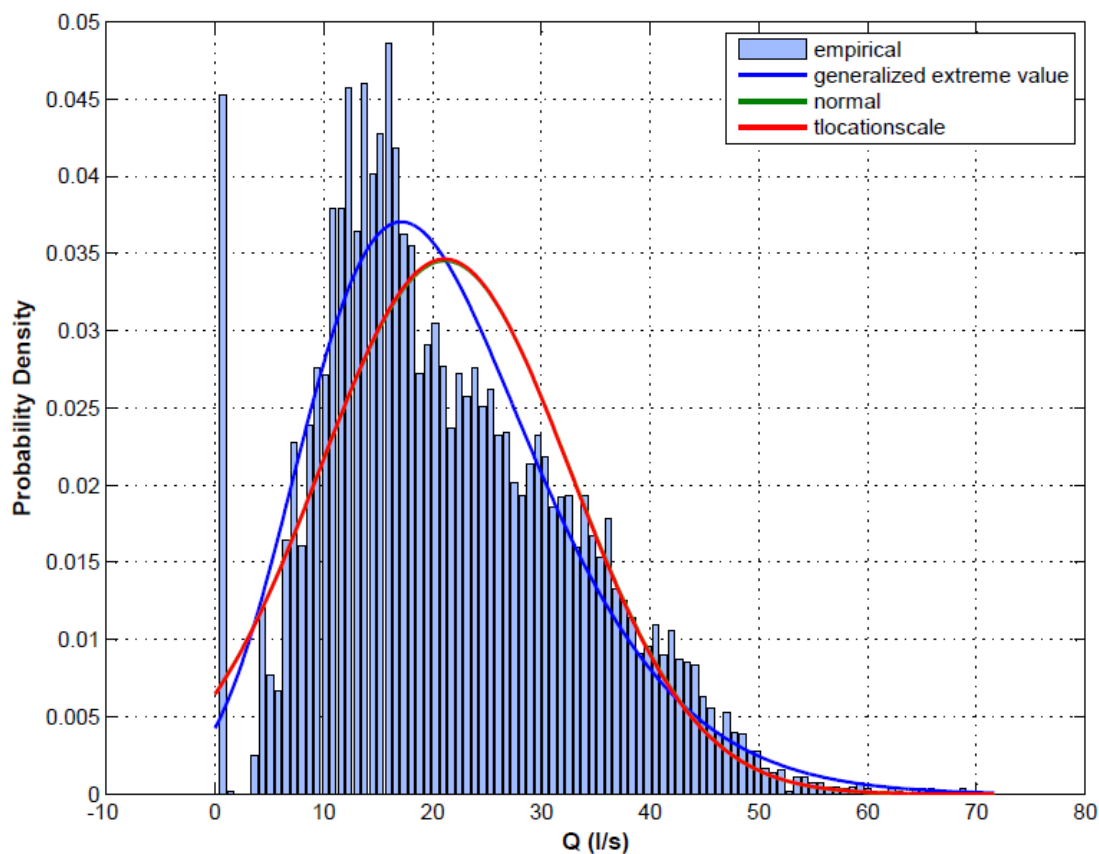
FEBRERO



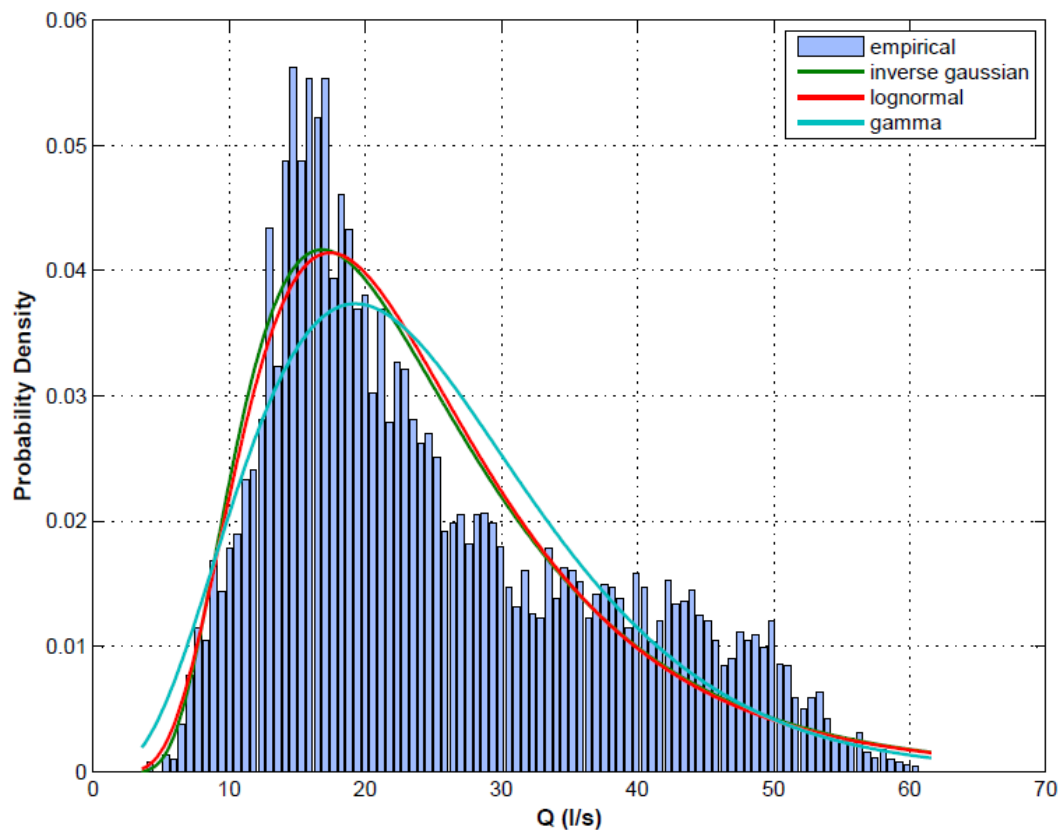
MARZO



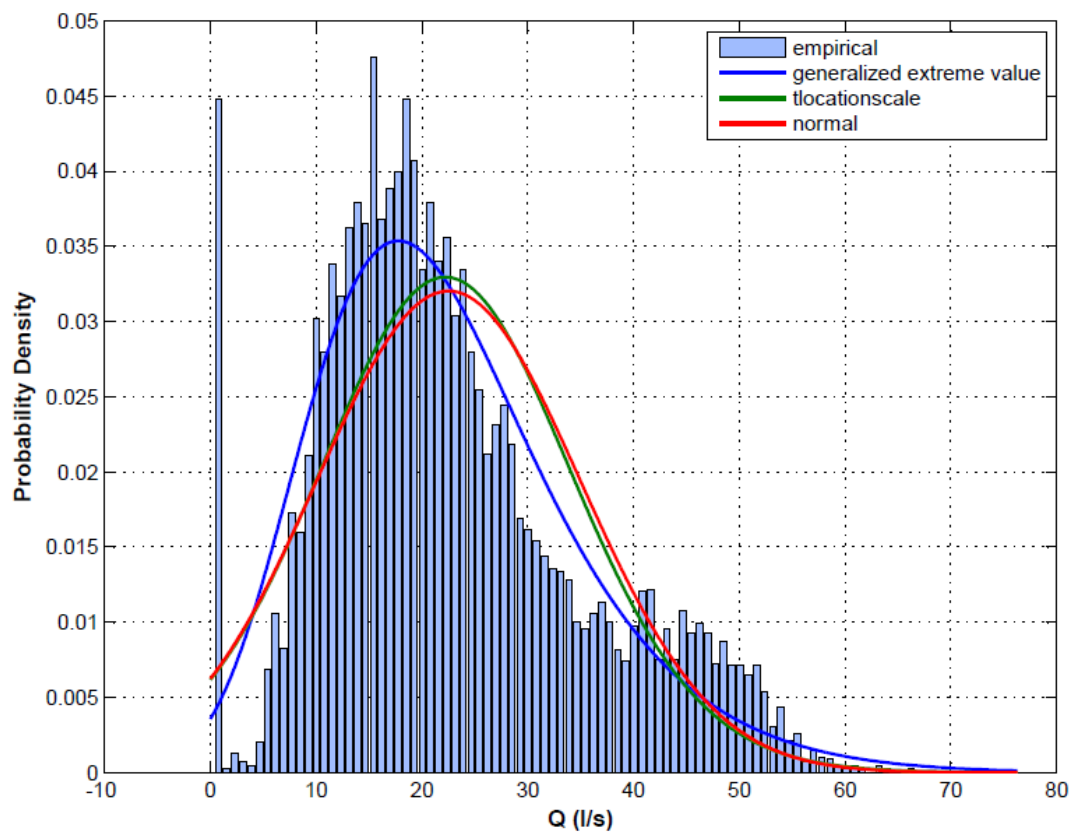
ABRIL



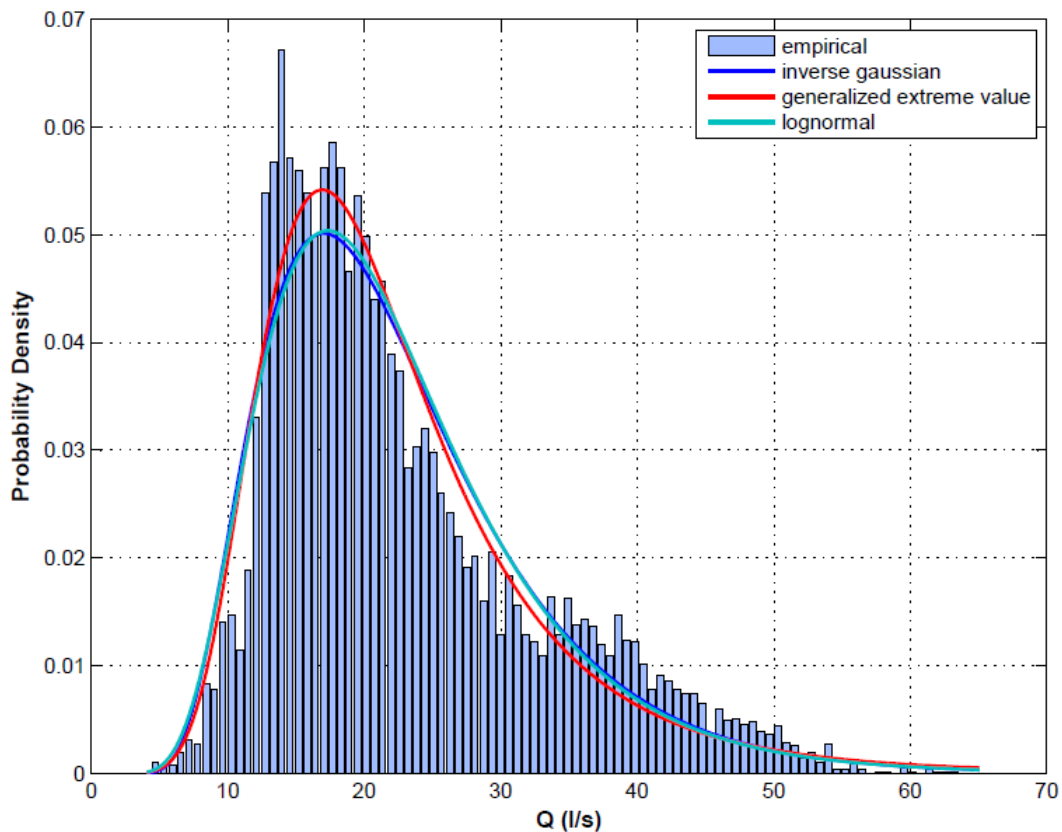
MAYO



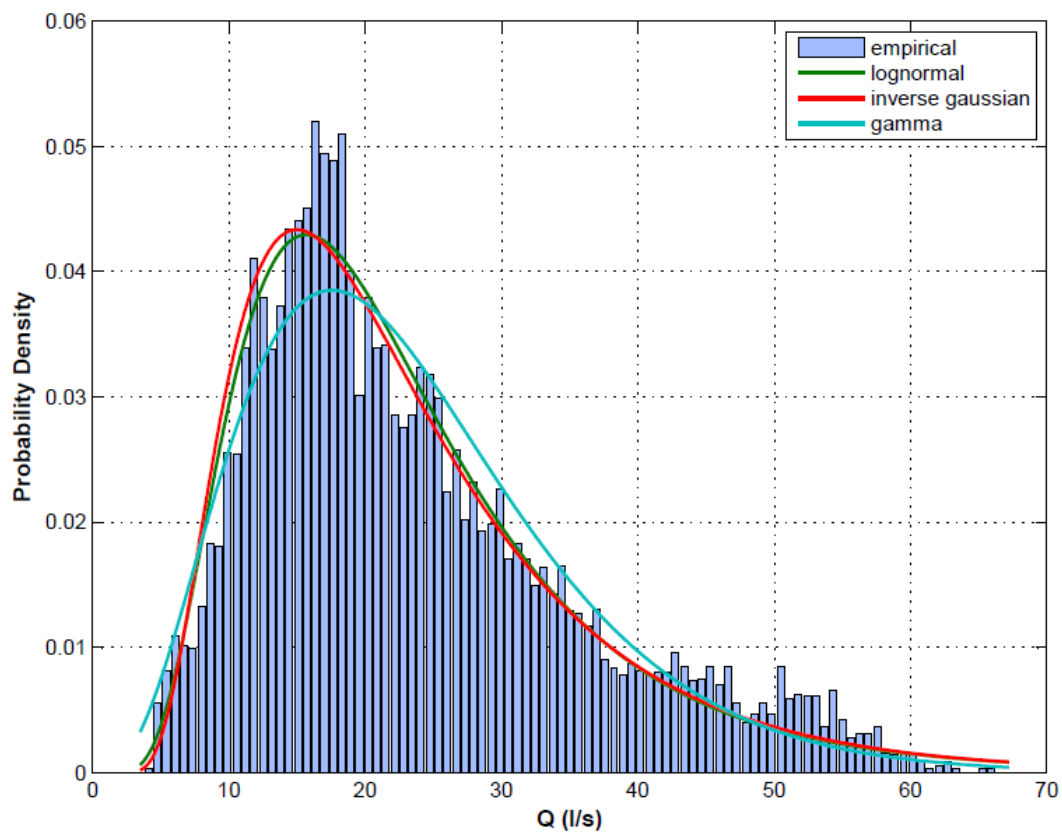
JUNIO



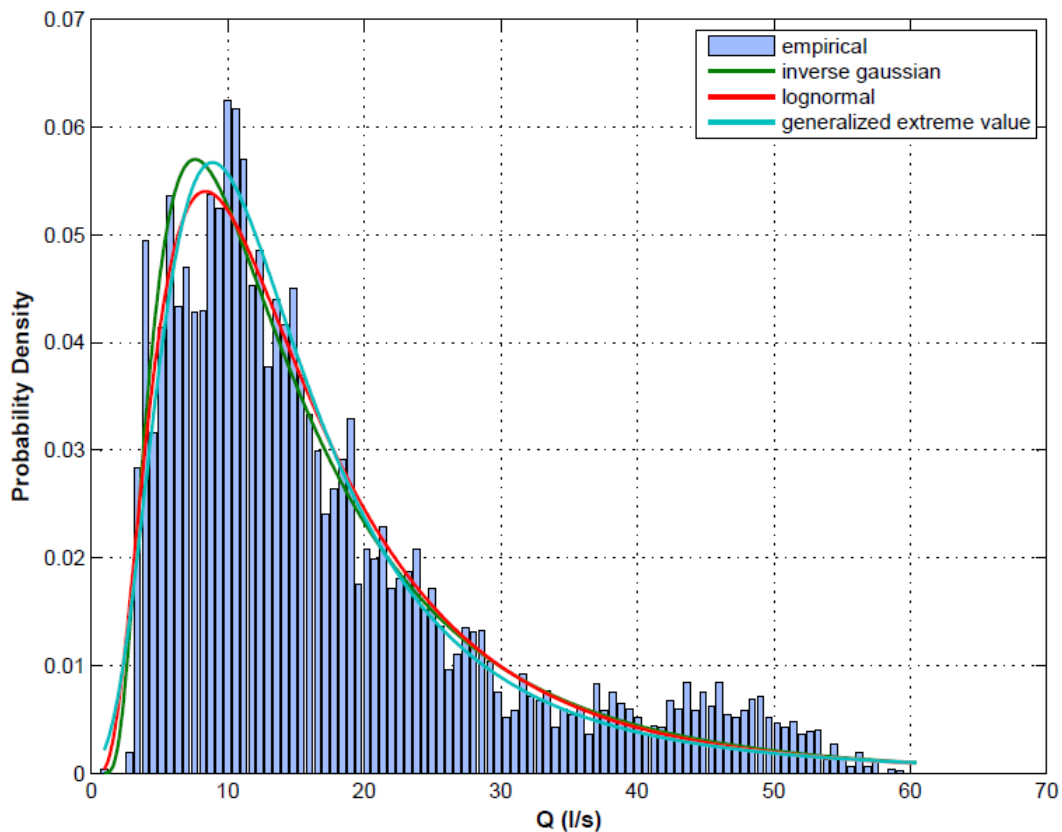
JULIO



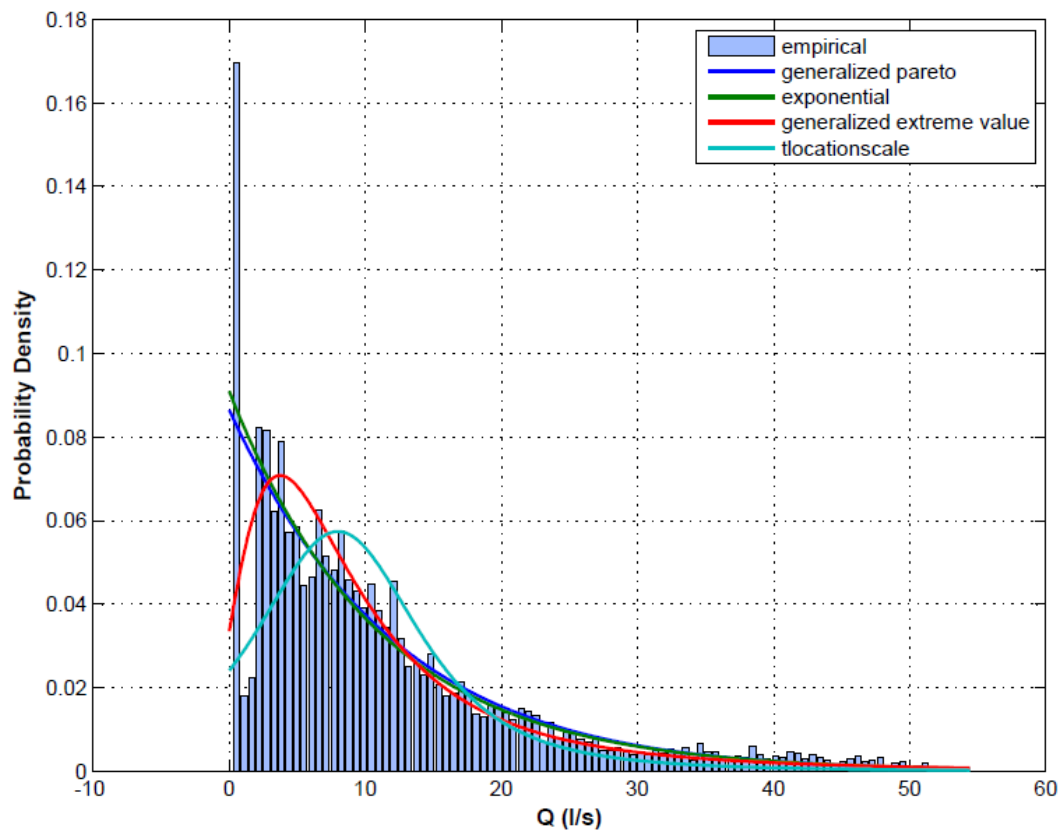
AGOSTO



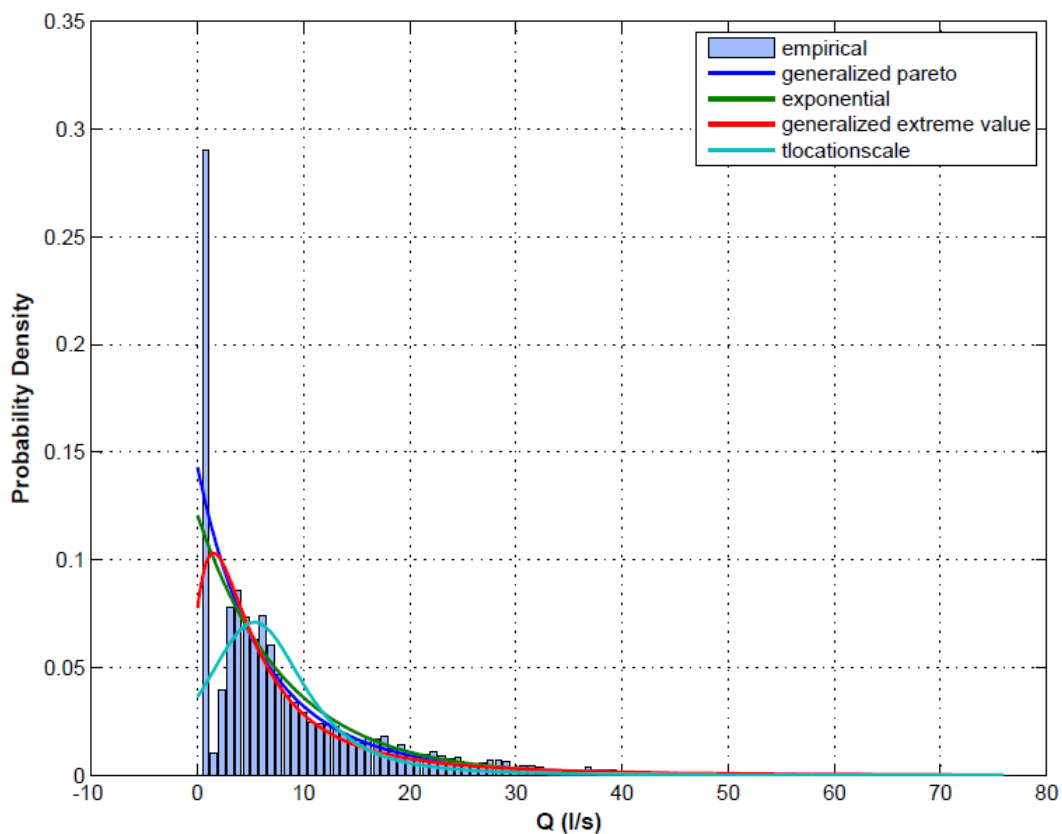
SEPTIEMBRE



OCTUBRE



NOVIEMBRE



DICIEMBRE

