

IDENTIFICACIÓN DE LA COMPONENTE ALEATORIA EN EL COMPORTAMIENTO
TEMPORAL DE LOS CAUDALES MÍNIMOS MULTIANUALES DEL RIO FONCE (SAN GIL,
SANTANDER) Y CARACTERIZACIÓN DEL RUIDO BLANCO

JOHAN NORBEY CARVAJAL ANTURI

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL

2017

IDENTIFICACIÓN DE LA COMPONENTE ALEATORIA EN EL COMPORTAMIENTO
TEMPORAL DE LOS CAUDALES MÍNIMOS MULTIANUALES DEL RIO FONCE (SAN GIL,
SANTANDER) Y CARACTERIZACIÓN DEL RUIDO BLANCO

JOHAN NORBEY CARVAJAL ANTURI

TRABAJO DE GRADO
PROYECTO DE ALTO IMPACTO 2134 DE 2016
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
PRODUCTIVIDAD E IMPACTO AMBIENTAL

TUTOR: PhD. HEBERT GONZALO RIVERA. DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA.

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ 2017

DEDICATORIA

Al ser supremo todo poderoso, por darme la salud y motivación de continuar por este camino de la ingeniería. A mis padres y hermana que estuvieron siempre a mi lado apoyándome de forma económica, sentimental y afectiva en esta etapa de mi vida, como estudiante universitario. A mi compañera sentimental que me motivo y apoyo en esta culminación del pregrado. A mis familiares en general y compañeros de la universidad. Muchos éxitos para todos.

JOHAN NORBEY CARVAJAL ANTURI

AGRADECIMIENTOS

Al creador de todo el universo, que me libero de todo mal y peligro por el camino que emprendí durante la universidad, por darme la perseverancia, motivación de enfrentar, superar todas las barreras y dificultades de la vida. También a mis padres, que se esforzaron al máximo en la capital Colombiana trabajando duro, para apoyarme económicamente, física y mentalmente, siendo lo último por medio del dialogo, llenándome de buenos principios, para actuar de la manera correcta ante los diferentes contextos, que se presenten durante el diario vivir, para que se transmite el lema de generación en generación, que es el de "Educad al niño para no castigar al hombre" (Policía Nacional). A los docentes y administrativos de la Universidad Militar Nueva Granada que aportaron muchos principios y valores para la formación profesional. A mi tutor el Docente Hebert Gonzalo Rivera por su guía y conocimiento que me brindo para la realización y finalización del proyecto. Igualmente a mi novia por su apoyo moral y afectivo durante este proceso.

JOHAN NORBEY CARVAJAL ANTURI

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| LISTA DE TABALAS..... | 7 |
| LISTADO DE EXPRESIONES MATEMATICAS..... | 8 |
| LISTA DE GRAFICOS..... | 9 |
| RESUMEN..... | 10 |
| ANTECEDENTES..... | 11 |
| 1) INTRODUCCION..... | 15 |
| 2) OPBJETIVOS..... | 16 |
| 2.1) OBJETIVO GENERAL..... | 16 |
| 2.2) OBJETIVOS ESPECIFICOS..... | 16 |
| 3) PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 16 |
| 3.1) DEFINICION DEL PROBLEMA | |
| 3.2) JUSTIFICACION | |
| 4) MARCO TEORICO | |
| 4.1) Marco conceptual..... | 18 |
| 4.1.1) series de tiempo..... | 18 |
| 4.1.1.1) tendencia a largo plazo..... | 18 |
| 4.1.1.2) Efecto cíclico..... | 18 |
| 4.1.1.3) Efecto Estacional..... | 18 |
| 4.1.1.4) comportamiento de variación Aleatoria..... | 19 |
| 4.1.2) Suaviza-miento Aritmético..... | 19 |
| 4.1.3) Series de Fourier..... | 19 |
| 4.1.4) Espectro Electromagnético..... | 20 |
| 4.1.5) Interferencias..... | 21 |

| | |
|--|----|
| 4.1.6) Ruido Blanco..... | 21 |
| 4.2) Marco Geográfico..... | 22 |
| 4.3) Marco Demográfico..... | 22 |
| 5) MATERIALES Y METODOS..... | 23 |
| 5.1) Materiales..... | 23 |
| 5.2) Metodología..... | 23 |
| 6) DESARROLLO DEL PROYECTO..... | 25 |
| 6.1) Planteamiento teórico..... | 25 |
| 6.2) Presentación de Resultados..... | 31 |
| 6.3) Análisis del desarrollo del proyecto..... | 44 |
| 6.4) Cronograma..... | 45 |
| 7) CONCLUSIONES..... | 46 |
| 8) BIBLIOGRAFIA..... | 47 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla N.1 Datos de los caudales mensuales mínimos vigentes 1955-2015..... | 24 |
| Tabla N.2 valores Reales y suavizados de media móvil, del mes de en enero..... | 27 |
| Tabla N. 3 Suavizado de los caudales mínimos mensuales..... | 33 |
| Tabla N.4 Datos Ruido Blanco..... | 37 |

LISTADO DE EXPRESIONES MATEMATICAS

| | Pág. |
|--|------|
| Expresión 1 Media móvil..... | 17 |
| Expresión 2 serie de Fourier..... | 17 |
| Expresión 3 Ecuación diferencial no lineal..... | 21 |
| Expresión 4 Tendencia línea móvil..... | 19 |
| Expresión 5 Promedio Móvil..... | 25 |
| Expresión 6. Señal s (t)..... | 29 |
| Expresión 7. Constante aperiódico..... | 29 |
| Expresión 8. Densidad Espectral..... | 30 |
| Expresión 9. Transformaciones de Fourier con ruido blanco..... | 31 |

LISTA DE GRAFICAS

| | Pág. |
|--|------|
| Grafica 1. Señal s (t)..... | 29 |
| Grafica N.2 Espectro de potencia del Ruido Blanco ¹ | 30 |
| Grafica N.3 comportamiento de los caudales mínimos mensuales..... | 32 |
| Grafica N.4 Caudales desde enero hasta abril con su respectivo suavizado..... | 34 |
| Grafica N.5 Caudales desde Mayo hasta Agosto con su respectivo suavizado..... | 35 |
| Grafica N.6 Caudales desde Septiembre hasta Diciembre con su respectivo suavizado..... | 36 |
| Grafica N.7 Caudal del mes de Enero con su espectro y espectro con ruido blanco..... | 38 |
| Grafica N.8 Caudal del mes de Febrero con su espectro y espectro con ruido blanco..... | 38 |
| Grafica N.9 Caudal del mes de Marzo con su espectro y espectro con ruido blanco..... | 39 |
| Grafica N.10 Caudal del mes de Abril con su espectro y espectro con ruido blanco..... | 39 |
| Grafica N.11 Caudal del mes de Mayo con su espectro y espectro con ruido blanco..... | 40 |
| Grafica N.12 Caudal del mes de Junio con su espectro y espectro con ruido blanco..... | 40 |
| Grafica N.13 Caudal del mes de Julio con su espectro y espectro con ruido blanco..... | 41 |
| Grafica N.14 Caudal del mes de Agosto con su espectro y espectro con ruido blanco..... | 41 |
| Grafica N.15 Caudal del mes de Septiembre con su espectro y espectro con ruido blanco..... | 42 |
| Grafica N.16 Caudal del mes de Octubre con su espectro y espectro con ruido blanco..... | 42 |
| Grafica N.17 Caudal del mes de Noviembre con su espectro y espectro con ruido blanco..... | 43 |
| Grafica N.18 Caudal del mes de Diciembre con su espectro y espectro con ruido blanco..... | 43 |

¹ Elaboración propia.

RESUMEN

Los caudales de la corriente del río Fonce son datos importantes para analizar la capacidad volumétrica y velocidad que tenga el río, para brindar así mismo un servicio al pueblo, fauna y flora de nuestro territorio, logrando la predicción de su comportamiento, ya que al ser sus datos de tendencia estocástica, no se logra identificar el comportamiento exacto por las fluctuaciones presentes en el comportamiento de la variable caudal, donde se analizara a través de una serie de tiempo. Por lo tanto se requiere un modelo el cual logre suavizar de manera eficaz el comportamiento de la variable caudal, para mitigar los errores del mismo, analizar la transformación de comportamiento no periódico a periódico y al final se logre interpretar la tendencia de la variable, para saber qué resultados se obtiene de los caudales a futuro, y tener la cantidad de energía que pueda generar a través del tiempo. Siendo así que este estudio fue realizado con los caudales anuales mínimos desde el año 1955 hasta el 2015, donde se evidenciaron diferentes valores de caudales con fluctuaciones muy grandes.

PALABRAS CLAVE: Caudal, Espectro, Estocástico, Ruido Blanco.

ANTECEDENTES

La importancia de interpretar los comportamientos, fenómenos y todo lo que rodea al hombre, es con el fin de actuar conforme a las reacciones que se generan por cada uno de los mismos, ello se logra con base al modelo MEST, el cual integra el contexto, de todas las cosas, podemos aplicar y analizar de forma más eficiente las mejoras para la estabilidad del futuro, ya que se interviene la materia, energía, espacio y tiempo. Los avances tecnológicos al ser directamente proporcionales con el tiempo, logra analizar, los comportamientos de las acciones o reacciones, que se denotan como variables, donde su comportamiento es estocástico, siendo así que varía a través del tiempo, es por ello que por medio de la probabilidad y estadística, se busca analizar, predecir y saber el resultado de la materia, en un determinado espacio, con respecto al tiempo y así mismo saber la cantidad de energía, que se necesitó para obtener el resultado que se manifestó en el diario vivir del hombre.

El estudio de los datos aleatorios, muestra cómo a través del tiempo, grandes autores e investigadores deseaban predecir el comportamiento de una variable estocástica, donde no se correlacionan directamente los resultados, siendo representada en una función no periódica a través del tiempo, siendo así que lo relacionaban con el movimiento browniano, el cual lo definió él mismo Robert Brown; como “movimiento aleatorio que se observa en ciertas partículas microscópicas que se hallan en un medio fluido”. Este autor lo descubrió en 1827, donde “observo por medio del microscopio la cantidad de polen que tenía una planta de especie *“clarekia pulchella”*, de la cual fue tomada sus anteras, antes de abrirse, donde contenían partículas o granos, el cual median entre 1/4000 a 1/3000 de pulgada, siendo alargada y cilíndrica, estas se desplazaban en movimientos aleatorios sin razón aparente, donde en un principio, se imaginó que las partículas tenían vida propia”, fue entonces tras muchas observaciones y análisis que realizó Brown, observo cuando al abrirse las anteras y después de cierto tiempo cuando se evaporo el agua dentro de las mismas, las partículas se depositaron en la base del portaobjetos del microscopio, llevándolo a más incertidumbre y cuestionamiento al respecto. Posteriormente, el fenómeno se relacionó no solo con partículas de polen, sino también con partículas de materia inorgánica (polvo fino de algunos minerales; carbón, vidrio, roca, etc.) Lo cual hasta principios del siglo XX, se explicó del porque el movimiento irregular de

las partículas de polen, el cual se debía al golpeteo constante de las moléculas invisibles de agua sobre las moléculas visibles de las partículas de polen. (martinez, 2008)

Décadas más tarde interviene la teoría del sonido en 1880 el cual se concentra en estudiar los problemas de la propagación sonora y de vibración por medio de ondas al momento de interpretar instrumentos musicales o elementos que generan perturbación al contacto entre sí, el científico responsable de esta teoría fue Rayleigh el cual fue galardonado y premiado del nobel de física donde investigó sobre la densidad de los gases y así mismo descubrió uno de los más importantes (el Argón). Este gran científico se destacó como el número uno en matemáticas y su trabajo fue excelente en tan corto tiempo. En 1872 reside en Egipto, el cual vivió y sostuvo a su familia económicamente gracias a la agricultura y por sus méritos de reconocimiento científico que obtuvo en su juventud, el cual unos años más tarde deja a cargo del hogar a su hermano menor y retoma la investigación científica por completo, donde intervino con el tema del efecto Tyndall; el cual se interesaba por el resultado de los impactos de ondas, en un medio fluido generando dispersión de la luz en el mismo medio.

Tiempo después interviene el Francés Bachelier (1870-1946) para la época de 1900, el cual fue un gran matemático, donde durante sus estudios se en camino por realizar la teoría de la especulación que presentó en su tesis. Es el responsable de la modelación del movimiento browniano, en caminado en el análisis de los estudios financieros, predicción del comportamiento de precios siguiendo la distribución normal; afirmaba que las fluctuaciones de los precios eran bastantes, por lo tanto miraba que el comportamiento de esta variable genera una incertidumbre al público, concluyó que matemáticamente era imposible aspirar a una predicción de los cambios de precios, pero que si era posible estudiar matemáticamente el mercado en un momento determinado del tiempo, es allí cuando inicia un estudio detallado sobre el comportamiento de las variables a través del tiempo.” Sin embargo su, trabajo no fue muy galardonado por sus profesores y compañeros, donde fue hasta 1960, que le dieron mucha importancia y apreciaron el trabajo que había realizado, ya cuando falleció”. (martinez, 2008)

Luego en 1905, interviene Albert Einstein (1879-1955), quien definió al movimiento browniano como la interacción cinética molecular del calor de diminutas partículas suspendidas en un medio líquido estacionario. Lo anterior fue explicado por medio de un artículo sobre mecánica estadística donde aporta la expresión matemática del movimiento Browniano, también explica que la dispersión del desplazamiento de la partícula en un fluido, en un tiempo dado, es proporcional a dicho tiempo. Todo ello inicio fue por su gran labor en la investigación de los átomos y de las moléculas donde se obtenían grandes relaciones entre fenómenos, tanto físicos como químicos. Desarrollando una teoría de las fuerzas moleculares, a partir de los fenómenos observables, despertándole el interés desde los detalles de las fuerzas moleculares relacionado con investigaciones ya realizadas. Todo ello fue importante para Las diversas explicaciones del movimiento Browniano a principios del siglo XX ya que la exclusión de las fuerzas vitales apelaban la capilaridad, corrientes de convención, interacción con la luz y fuerzas eléctricas, estando no del todo claras, es por ello que Einstein interviene para complementarlo con cada uno de los ítems mencionados, gracias a sus estudios el logro analizar las investigaciones y conclusiones que realizaban sus colegas con base al movimiento Browniano, de épocas pasadas, dando el inicio de la explicación clara del movimiento Browniano con la presión Osmótica y su relación con la teoría de la difusión y la teoría molecular. El escribe en su artículo: “De acuerdo con esta teoría, una molécula disuelta difiere de un cuerpo suspendido solamente en tamaño, y es difícil ver porqué los cuerpos suspendidos no deberían producir la misma presión osmótica que un número igual de moléculas disueltas” (ALBERT EINSTEIN, articulo 2), enfocándose en tres puntos primordiales para el análisis del movimiento Browniano (1) Se basó en la presión Osmótica; (2) Identifico el desplazamiento de las partículas suspendidas, antes que sus velocidades; (3) aplico la teoría molecular del calor y la teoría microscópica de la disipación. Concluyendo con la obtención de la expresión matemática de difusión, el cual se obtuvo gracias a la distribución de probabilidad de los desplazamientos, el cual suponía la existencia de un intervalo de tiempo, corto con respecto al tiempo de observación, pero así también lo suficientemente largo, como para que los movimientos de una partícula suspendida en dos intervalos sucesivos pudieran tratarse como independientes. Siendo así que el desplazamiento de las partículas pueden describirse por la distribución de probabilidad que determina la cantidad de partículas desplazadas a una cierta distancia en cada intervalo del tiempo. (PENROSE)

De 1921 hasta 1927 se sientan las bases estadísticas que fundamentaran la teoría de los ciclos económicos y análisis econométrico de las series de tiempo, siendo así como A.N Kolgomorov en 1931 y con el estadístico británico George Yule y su obra (Problema de correlación sobre el tiempo); promueven la investigación y las primeras aplicaciones econométricas basadas en modelos auto regresivos de segundo orden.

En 1960 los investigadores desarrollaron modelos que eran posibles en descomponer una serie de datos el cual hacen parte de la serie de tiempo; tendencia, componente cíclico, componente estacional y de aleatoriedad, basándose en la aplicación de medias móviles y en las desviaciones de la variable.

Ya para los años 70, interviene las series de tiempo, encaminado al estudio de los datos económicos, siendo Box E.P y Jenkins G.M, los responsables de desarrollar la técnica ARIMA (Modelo Auto-regresivo Integrado de Medias Móviles), ellos parten de la concepción de la no estacionalidad de la serie, pero gracias al matemático Francés J. Fourier, logra aproximar una serie en términos de funciones de la misma variable, comprobando su orientación determinista, mediante la aplicación de una o dos veces, de un procedimiento de integración de variables de la serie estacionaria y de sumas se llega a la serie real; de ahí el nombre de modelos Auto regresivos integrados y media móviles, donde hasta estos días se visualiza aplicar estos modelos a cualquier variable interesada en analizar.

Actualmente la investigación se lleva en la Universidad Militar Nueva Granada, donde estudian y analizan el tema de tendencias y comportamiento de la variable aleatoria, con el fin de modelar la ecuación de la variable e interpretarlos para su intervención, mejora o ayuda de la corriente Fonce en San Gil, Norte de Santander.

1. INTRODUCCION

En el estudio de la hidrología encontramos gran incertidumbre ya que los datos obtenidos por el uso de instrumentos, al momento de su medición conllevan a amplios márgenes de error, lo cual, Según estudios realizados, en el caso de los caudales pueden superar el 30 %, siendo de vital importancia estos datos, ya que con esta información incide directamente en la vida útil de una obra (Hebert R. 2013). Con estas márgenes de error inmersas en los datos, se debe buscar mitigarlas, analizando su comportamiento e identificando sus fluctuaciones tan relevantes, después de realizar todo el proceso, se tendría datos más confiables y más exactos para la construcción de una obra ingenieril, que cumpla con brindar un buen servicio y mejore la calidad de vida de la población. La incertidumbre de estos datos hace que no se tenga certeza del comportamiento a futuro de los caudales mínimos del rio Fonce, lo cual se analizaría la cantidad de energía que pueda tener la corriente del Fonce, porque gracias a ello se logra visualizar que reacción tendría la naturaleza; fauna, flora, vegetal, suelos, población etc., en una cierta cantidad de energía que pueda acumular a través del tiempo. Sin una predicción y estimación del comportamiento de los caudales, podrían presentarse inconvenientes, que afectarían al entorno y así mismo a las infraestructuras que se realizaran.

Las series de tiempo identifican el comportamiento de una variable, logrando mirar que tendencia podría llevar, que tan repetitivo se presenta un comportamiento dentro del mismo y en qué momento se podría intervenir en la variable para evitar cambios drásticos en el contexto que este la variable. Es por ello que este trabajo se muestra la aplicación de modelos de predicción, como las de series de tiempo, transformada de Fourier, para tendencias no periódicas y análisis de la cantidad de energía que pueda tener en un futuro la variable, por medio del espectro.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la componente aleatoria en la trayectoria estocástica del comportamiento de los caudales mínimos en el río Fonce (San Gil, Santander) y caracterizarla estadísticamente.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 2.2.1) Compilar los datos de caudales mínimos del río Fonce.
- 2.2.2) Establecer en el comportamiento temporal de los caudales mínimos la componente determinista.
- 2.2.3) Caracterizar estadísticamente la componente aleatoria tipo ruido blanco.
- 2.2.4) Socializar los resultados.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DEFINICION DEL PROBLEMA

La medición de caudales en las estaciones del Instituto IDEAM se realiza mediante diversos instrumentos, los cuales tienen una gran incertidumbre que incide en su análisis y predicción a futuro.

En este trabajo de grado el problema se plantea mediante el interrogante ¿cuáles son las características estadísticas de la componente aleatoria del proceso de caudales mínimos en el río Fonce?

3.2 JUSTIFICACION

Con la interpretación del comportamiento de una variable, se logran identificar los parámetros de la serie de tiempo; su tendencia, estacionalidad, estado cíclico y su variabilidad como comportamiento estocástico, permitiendo que en este caso el estudio siendo con datos de caudales, se analice el comportamiento de la corriente Fonce, siendo éste no periódico si no variable, pero con la aplicación de las series de Fourier se logra transformar la serie de forma periódica, detallando su tendencia y así mismo las anteriores variables ya mencionadas, con el fin de suavizar su respectivo resultado, y al final hibridarla con el ruido blanco, para que logre reducir errores que se tenía en el resultado del comportamiento de la variable.

Una tendencia estocástica o comportamiento incierto hace que sus resultados no sean tan confiables, es de vital importancia llegar a un punto de exactitud cada vez más fuerte, el cual no genere dudas al momento de llegar a cierto punto del tiempo, y sea verídica la predicción que se generó con base a lo estudiado.

Por todo lo anterior se debe predecir de manera correcta el comportamiento de los caudales mínimos del río Fonce, aplicando el estudio de Series de Tiempo, analizando después de un proceso de comportamiento de datos, mitigando las fluctuaciones que puedan presentarse, y obtener así mismo su respectivo espectro o cantidad de energía que pueda tener el Río Fonce.

4. MARCO TEORICO

4.1 Para clarificar el estudio del presente trabajo, se retroalimenta la información, tomando los conceptos de series de tiempo para facilitar la interpretación del mismo, engranando las teorías con el alcance de la investigación:

4.1.1) **series de tiempo:**

Se identifican por especificar la estructura estocástica de un conjunto de datos, en general ocurre que los valores que toma la serie en el periodo t depende de los valores precedentes, logrando determinar la estructura de auto correlación de la serie con el fin de identificar el proceso generador de los datos. (RAMIREZ, 2007) También, se define como la sucesión de observaciones de un fenómeno que es variable con respecto al tiempo, teniendo comportamientos no periódicas en representación gráfica, lo cual es complicado descifrar y predecir el comportamiento de la variable a futuro, para facilitar esta predicción, se estudian 4 variables primordiales que hacen parte de la serie y estas son:

4.1.1.1) **Tendencia a largo plazo:** Está dado por el continuo cambio al que está inmersa la variable a estudiar, siendo su contexto diferente en cada punto del tiempo, logra que estos no lleguen a producir cambios bruscos en ciertas épocas, pero sí producen un cambio gradual y estable a largo plazo.

4.1.1.2) **Efecto Cíclico:** Está dada cuando la serie aumenta o disminuye en forma de onda, estos cambios son muy suaves, y por lo general están sometidos por el cambio en la demanda de algún producto, ciclos de los negocios, acumulación de bienes etc. (JHON E. HANKE, 2010)

4.1.1.3) **Efecto estacional:** Está inmersa directamente con los intervalos de tiempo fijo de la última ocurrencia, es decir durante el estudio de una variable es fácil detectar el comportamiento similar en un punto fijo del tiempo con otro punto fijo, en otras palabras estos

puntos fijos se representan como el contexto de ciertas épocas del año donde su comportamiento es repetitivo con respecto a los otros años, un ejemplo claro es el aumento en ventas para las épocas decembrinas, siendo este un punto fijo de tiempo para los meses de ventas en juguetería. (MENDENHALL/REINMEVTH)

4.1.1.4) **comportamiento de variación Aleatoria:** Componente irregular que representa la variabilidad en la serie de tiempo después de que se eliminaron los anteriores componentes.

También se resalta los estudios, funciones y expresiones matemáticas que se deben utilizar para obtener el resultado deseado.

4.1.2) **Suaviza-miento Aritmético:** Logra estimar la tendencia de una serie, removiendo el ruido y las fluctuaciones de corto plazo de una serie dejando solo su movimiento de largo plazo (tendencia), el promedio aritmético es una alternativa de suavizado el cual es dado por un momento de tiempo t donde se puede tomar centrado, sobre $2m + 1$ términos, esto es, m hacia delante de t , m hacia atrás y uno en t , como lo indica la siguiente expresión.² (MONTENEGRO, 2005)

$$S_t = \left(\frac{1}{2m + 1}\right) \sum_{i=-m}^m (X(t + i))$$

Expresión N.1 Media móvil

4.1.3 **Serie de Fourier:** la finalidad de la serie es descomponer un comportamiento de una variable de estudio no periódica, en un comportamiento periódico básico con senos y cosenos, donde en las señales las frecuencias son múltiplos de la señal

² La descripción detallada de la estimación del suavizado se encuentran (MONTENEGRO, SERIES DE TIEMPO, p. 449-460).

original, la descomposición permite el análisis de las propiedades y la síntesis de los objetos o fenómenos.

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right)$$

Expresión N.2 serie de Fourier

- 4.1.4 **Espectro Electromagnético:** Distribución energética de un conjunto de ondas, siendo este una radiación que emite o absorbe una sustancia, en pocas palabras es el resultado de la descomposición de un fenómeno, el cual trasciende de un estado a otro, logrando exponer su cantidad energética de cualquier fenómeno estudiado, donde en ciertos espectros se presenta información vital para su uso y estudio como tal. Los responsables de transmitir la información con base a los tres partes fundamentales de la misma, son: la amplitud, el cual se mide en voltios; la frecuencia que es conocida como $1/T$, siendo T el periodo, que significa la duración de un ciclo de la señal u oscilaciones de la misma. Por lo anterior es de vital importancia llegar a un punto del control de las oscilaciones ya que si no hay un control sobre ellas, no habría una sintonización de la información óptima para analizarse, es por ello que se implementa la modulación que consiste en controlar, esas misma oscilaciones por medio de las altas frecuencias, por potenciales de los electrodos de los aparatos electrónicos, de un circuito de radiotransmisor. Siendo así que el análisis de las señales se lograría por medio de las propiedades de las ecuaciones diferenciales, que en este caso se habla de una ecuación no lineal, donde uno o varios de sus coeficientes son funciones de (y) , la cual sería, $a_{n-1}(y)$:

$$f(t) = a_0y + a_1 \frac{dy}{dt} + \dots + a_{n-2} \frac{d^{n-2}y}{dt^{n-2}} + a_{n-1}(y) \frac{d^{n-1}y}{dt^{n-1}} + a_n \frac{d^n y}{dt^n} +$$

Expresión N.3 Ecuación diferencial no lineal

Con base a la teoría de la superposición³, esta ecuación no es aplicable para solucionarla con ella, siendo aún más compleja que las lineales, la cual para estructurar la señal convertida depende no solo de la forma de la señal, sino de su amplitud. Es de mucha importancia recalcar estos sistemas no lineales, por lo que son acompañados por la transformación del espectro de frecuencias, que a su vez dan resultado a la modulación y en general a todos los procesos que tengan que brindar y transportar información de un espectro electromagnético. (GONOROVSKI, 1972)

4.1.5 **Interferencias:** Son ruidos propios de diferentes intensidades, sean que provengan de diferentes lugares, espacios, galaxias o de otras fuentes de emisiones magnéticas. Lo grave de estas, es que distorsionan la señal, a causa de las perturbaciones, el cual altera el mensaje o información de la señal, creando errores en el receptor de dicho espectro, siendo así que se sustituya el mensaje verdadero por otro, donde al final brindara información falsa. (GONOROVSKI, 1972, p.22)

4.1.6 **Ruido Blanco:** Señal no correlativa , identificada por media cero y varianza constante, es decir que en el eje del tiempo la señal toma valores sin ninguna relacion unos con otros, por su respectiva media. Al momento de tener un espectro plano, antes de someter la señal a una descomposicion por las series de Fourier, tendria una amplitud constante , donde su comportamiento al final seria una linea paralela a las abscisas.

³ La superposición consiste en descomponer una expresión lineal en dos o más expresiones sencillas, de tal manera que la expresión original se obtiene de la suma de las expresiones sencillas.

4. 2 Marco Geográfico

El estudio se realizó con base a los datos obtenidos en el IDEAM, tomados de la estación 24027010 de SAN GIL (SANTANDER), siendo el río Fonce el protagonista principal de esta investigación, su estación Limnigráfica está ubicada a una latitud de 0632 N con longitud de 7307 W y con una elevación de 1113 m.s.n.m. Su excelente clima tropical logra que se realice diversas actividades en ciertas épocas de año, lo cual lo hace muy turístico. La importancia de cada uno de los puntos mencionados anteriormente, son de vital importancia, porque gracias a ellos, logra la reacción del comportamiento del río, por ejemplo su ubicación siendo en la cordillera central de Colombia, muestra una clara importancia en el caso de las pendientes que tiene el río, para el estudio de la escorrentía que se presente en las épocas de invierno y como consecuencia de ello logre el aumento de los caudales en ciertas épocas del año. (IDEAM)

4.3 Marco Demográfico y cronológico:

El trabajo presente se desea interpretar los valores de los caudales desde el año 1955 hasta el año 2015, ya que actualmente solo se encuentra información hasta este año en el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). Con base a los habitantes de esta región santandereana, al transcurrir los años ha tenido un gran aumento en el asentamiento poblacional, la cual estudios realizados por el DANE, para el año 2005 tenía un total de 42988 habitantes (Censo general del DANE, 2005, p.54) comparandolo con el sistema de identificación de potenciales beneficiarios de programas sociales (SISBEN) para el año 2012 se cuenta con 89998 habitantes. Por lo anterior es de vital importancia el estudio del comportamiento del río, ya que al ver el aumento de asentamiento poblacional en el pueblo de San Gil, se debe actuar y tomar medidas, para asesorar a los pobladores que en un futuro cuando se instalen y se ubiquen en San Gil, lo hagan en un territorio que no sea de alto riesgo, ya sea por las crecientes del río o retornos del comportamiento del mismo. (DANE, 2005)

5 MATERIALES Y METODOS

5.1 MATERIALES

Este trabajo se realizara con recursos propios, con el uso del software labview obtenido gratuitamente por la web y el Excel inmerso del paquete office.

5.2 METODOLOGIA

Se obtuvo la información hidrológica del IDEAM, de los Caudales mínimos, el cual fue de la estación ubicada en San GIL, identificada con el número 24027010, donde se inicia la compilación de los datos, graficando los valores de los caudales anuales desde el año de 1955 hasta el 2015, se analiza las fluctuaciones, donde se prosigue a implementar dos métodos de suavizado de la variable en estudio, que en este caso son los caudales mínimos mensuales, se utiliza la media móvil:

$$ft = \frac{At + A(t - 1) + \dots \dots A(t - n + 1)}{n}$$

Expresión N.4 Tendencia línea móvil

Donde A_t es uno de los valores de los caudales que se tomaran como punto inicial, n el número de volares el cual se tomaran para hacer la respectiva media, hasta llegar al dato final de todo el comportamiento de la variable, que depende de su valor n o número de datos a promediar, reduciendo al final las fluctuaciones del comportamiento de la variable de los caudales mínimos.

La información suministrada por el IDEAM, con el que realizamos el respectivo suavizado, y estudio de la variable son:

| I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| VALORES MINIMOS MENSUALES DE CAUDALES (m3/seg) | | | | | | | | | | | | | |
| Años | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | VR ANUAL |
| 1955 | 32,34 | 30,66 | 33,53 | 48,9 | 60 | 47,2 | 61 | 45,4 | 46,3 | 58,5 | 68,52 | 57 | 45,4 |
| 1956 | 32,34 | 52 | 52 | 40 | 48,1 | 37 | 37 | 39,22 | 40,9 | 36,2 | 68,52 | 45,04 | 36,2 |
| 1957 | 32,34 | 30,66 | 33,53 | 38,5 | 69 | 52,8 | 40,9 | 26,9 | 30,4 | 38,5 | 41,1 | 34,4 | 26,9 |
| 1958 | 22,2 | 16 | 16 | 21,2 | 30 | 29,7 | 23,2 | 23,2 | 21 | 24,5 | 45 | 34 | 16 |
| 1959 | 21,6 | 14,8 | 16,6 | 24,2 | 50 | 38,5 | 40 | 32,8 | 31,1 | 48,4 | 48,8 | 20,6 | 14,8 |
| 1960 | 31,8 | 29 | 22,2 | 37,8 | 65 | 33,1 | 38,9 | 15,5 | 35,5 | 35,5 | 14,5 | 5 | 5,3 |
| 1961 | 33,2 | 28,3 | 26,2 | 27,1 | 37,4 | 38,2 | 32,5 | 28,6 | 34,8 | 34 | 71,8 | 38,5 | 26,2 |
| 1962 | 28,6 | 22,9 | 24,2 | 31,8 | 59 | 54,5 | 50 | 41,8 | 36,6 | 50 | 81,9 | 39,2 | 22,9 |
| 1963 | 25,5 | 25,5 | 25,5 | 58 | 92 | 69 | 55 | 39,2 | 36,2 | 52 | 37,8 | 37,8 | 25,5 |
| 1964 | 19 | 19 | 19 | 44,5 | 53 | 40 | 63 | 55 | 40 | 55 | 60 | 40 | 19 |
| 1965 | 31,1 | 26,9 | 25,5 | 29 | 47,2 | 49 | 32,5 | 32,5 | 34 | 48,1 | 71,9 | 53,5 | 25,5 |
| 1966 | 27,6 | 21,3 | 19,6 | 19 | 55 | 83 | 46,8 | 41,8 | 32,5 | 104,5 | 74,5 | 48,6 | 19 |
| 1967 | 37 | 34 | 32,5 | 45,4 | 80 | 53 | 36,2 | 37 | 30 | 47,2 | 67,1 | 32,5 | 30 |
| 1968 | 25,5 | 25,5 | 28,3 | 40,2 | 103,7 | 97,2 | 75 | 48,6 | 61 | 73,4 | 86,6 | 38,8 | 25,5 |
| 1969 | 35,5 | 29,7 | 26,2 | 23,6 | 61,2 | 62,5 | 35,8 | 33,6 | 24,8 | 92,3 | 81,9 | 40,4 | 23,6 |
| 1970 | 34 | 31,1 | 24,2 | 24,8 | 65 | 48,1 | 40 | 40,9 | 39,2 | 62 | 84,8 | 69,2 | 24,2 |
| 1971 | 62 | 66,5 | 92,2 | 97,9 | 138,5 | 67,6 | 52 | 50 | 68 | 89,6 | 70,1 | 59 | 50 |
| 1972 | 67,9 | 49,3 | 45,6 | 48,9 | 120,1 | 68,5 | 50,2 | 46,3 | 48 | 56 | 65,7 | 42,4 | 42,4 |
| 1973 | 22,1 | 18 | 19,7 | 23,1 | 48,8 | 47,2 | 42,7 | 43,5 | 68,2 | 73,2 | 74,1 | 72,1 | 18 |
| 1974 | 46,5 | 54,2 | 62,2 | 66,2 | 81,9 | 49,5 | 42,8 | 31,2 | 39,9 | 103,2 | 98 | 32,1 | 31,2 |
| 1975 | 23,3 | 22,6 | 36,2 | 29,1 | 77,9 | 49,4 | 59,2 | 59,1 | 59,7 | 55,8 | 95,7 | 69,1 | 22,6 |
| 1976 | 30 | 32,2 | 64,7 | 53,7 | 88,3 | 51 | 31,5 | 26,4 | 21,7 | 31 | 38,5 | 26,4 | 21,7 |
| 1977 | 19,2 | 12,9 | 8,4 | 18,3 | 48,1 | 44 | 37,7 | 34,4 | 31,7 | 78,9 | 68,4 | 32,4 | 8,4 |
| 1978 | 22,3 | 14,7 | 14,8 | 96,2 | 72,9 | 62,1 | 43,6 | 31,2 | 44,2 | 56,5 | 59,7 | 39,4 | 14,7 |
| 1979 | 24,6 | 18,7 | 29,1 | 39,2 | 61,1 | 89 | 41,6 | 34 | 60,7 | 46,9 | 102,7 | 42,2 | 18,7 |
| 1980 | 25,9 | 29,1 | 22,8 | 18,7 | 42,3 | 42,2 | 32,4 | 30,9 | 30,2 | 56,5 | 56,5 | 51,3 | 18,7 |
| 1981 | 24,5 | 33 | 32,5 | 28,3 | 143,5 | 102,8 | 64 | 49 | 39,5 | 45,5 | 80,2 | 45,3 | 24,5 |
| 1982 | 30 | 48,7 | 39,5 | 107,8 | 116,6 | 50,8 | 33 | 33,6 | 26,7 | 58,6 | 69,1 | 58,4 | 26,7 |
| 1983 | 39,69 | 32,69 | 28,24 | 30,4 | 89,7 | 61,8 | 37,6 | 32 | 40,5 | 59,2 | 53,9 | 62 | 28,24 |
| 1984 | 37,8 | 36,1 | 30,5 | 31,5 | 66,3 | 68,2 | 65,3 | 57,5 | 64,6 | 76,6 | 82,4 | 62,3 | 30,5 |
| 1985 | 34,3 | 25,9 | 29,5 | 51,4 | 58,4 | 40,8 | 31 | 41,4 | 44,7 | 63,6 | 74,4 | 40,1 | 25,9 |
| 1986 | 32,5 | 35,5 | 45,9 | 90,9 | 73 | 54,6 | 32,5 | 29 | 26,5 | 114,5 | 84 | 40,6 | 26,5 |
| 1987 | 25 | 21,6 | 23 | 26,5 | 55,5 | 38,8 | 34,9 | 47,6 | 48,7 | 86,7 | 77,9 | 44,7 | 21,6 |
| 1988 | 25 | 25 | 18,8 | 48,2 | 52 | 59,3 | 67,7 | 90,4 | 79 | 92,3 | 105,3 | 66,2 | 18,8 |
| 1989 | 63,8 | 71,2 | 79,6 | 58,6 | 66,4 | 50,8 | 42,1 | 39,2 | 68,6 | 83,2 | 64,4 | 46 | 39,2 |
| 1990 | 29 | 27,1 | 25,7 | 45,6 | 75,4 | 41,3 | 39 | 32,3 | 30,9 | 45,6 | 72,7 | 44,8 | 25,7 |
| 1991 | 23,8 | 21,1 | 26,1 | 35,6 | 54,5 | 53 | 34,2 | 25,2 | 23,9 | 40,7 | 61,9 | 41,3 | 21,1 |
| 1992 | 24,3 | 23,3 | 20 | 21,9 | 35,2 | 28 | 26,2 | 25,7 | 21,7 | 39,4 | 37,1 | 36,7 | 20 |
| 1993 | 29,9 | 18,5 | 17,6 | 34,5 | 78,3 | 35,7 | 31,4 | 24,3 | 31,4 | 46,2 | 92,7 | 43,7 | 17,6 |
| 1994 | 29 | 31,8 | 63,4 | 89,5 | 106,2 | 48,6 | 38,4 | 35,7 | 41,1 | 62,3 | 89,9 | 47,1 | 29 |
| 1995 | 26,2 | 17,6 | 31,4 | 43,3 | 53 | 66,8 | 41 | 62,3 | 45,2 | 61,1 | 55,8 | 47,5 | 17,6 |
| 1996 | 35,2 | 36,6 | 68,5 | 60 | 103,8 | 77,5 | 58 | 51,5 | 52,9 | 55 | 56,1 | 37,8 | 35,2 |
| 1997 | 34,7 | 38,6 | 36,6 | 77,4 | 67,1 | 55 | 26,6 | 23,3 | 22,8 | 39,6 | 45,2 | 25,2 | 22,8 |
| 1998 | 17,6 | 22,3 | 21,9 | 70,3 | 70,7 | 46,7 | 38,3 | 47,6 | 47,5 | 58,4 | 78,2 | 80,4 | 17,6 |
| 1999 | 57,2 | 70,3 | 79,6 | 70,7 | 42,8 | 46,2 | 46,1 | 49,2 | 55,8 | 90,6 | 100,4 | 52,2 | 42,8 |
| 2000 | 39,4 | 36,6 | 56,4 | 61,1 | 68,9 | 65,9 | 47,5 | 35,2 | 46,6 | 58,2 | 57 | 29,5 | 29,5 |
| 2001 | 25,2 | 18,5 | 33,53 | 30,8 | 53,2 | 42,8 | 37,1 | 27,1 | 24,3 | 45,7 | 63,6 | 64 | 18,5 |
| 2002 | 26,2 | 22,8 | 19 | 80,1 | 59,2 | 57,2 | 36,1 | 25,7 | 31 | 38,5 | 42,8 | 38 | 19 |
| 2003 | 20 | 22,4 | 19,5 | 40,6 | 61,7 | 52,2 | 29 | 43,3 | 44,7 | 87,4 | 78,2 | 60 | 19,5 |
| 2004 | 30,9 | 25,5 | 22,8 | 48 | 78,2 | 36,3 | 37,4 | 29,1 | 33,1 | 46,7 | 85,9 | 49,2 | 22,8 |
| 2005 | 41,6 | 44,9 | 29,5 | 62,3 | 64,1 | 47,1 | 40,8 | 37,2 | 32,7 | 61,7 | 90,9 | 42,6 | 29,5 |
| 2006 | 38,1 | 25,5 | 30,9 | 81,74 | 88,29 | 58,76 | 41,06 | 31,8 | 37,65 | 37,31 | 74,83 | 52,43 | 25,5 |
| 2007 | 40,58 | 23,7 | 21,97 | 63,14 | 80,24 | 59,35 | 48,06 | 48,98 | 51,59 | 65,93 | 67,72 | 56,27 | 21,97 |
| 2008 | 45,08 | 37,28 | 38,1 | 42,15 | 60,55 | 70,21 | 56,96 | 58,16 | 56,37 | 72,81 | 72,71 | 43,42 | 37,28 |
| 2009 | 39,15 | 47,31 | 33,53 | 81,03 | 53,88 | 45,9 | 31,35 | 41,4 | 33,3 | 30,67 | 48,11 | 28,39 | 28,39 |
| 2010 | 20,1 | 17,4 | 18,45 | 35,81 | 55,77 | 55,9 | 84,25 | 71,59 | 88,15 | 87,27 | 109 | 56,52 | 17,4 |
| 2011 | 36,97 | 32,87 | 55,97 | 79,52 | 101,2 | 62,83 | 42,71 | 39,66 | 41,45 | 77,56 | 67,66 | 74,2 | 32,87 |
| 2012 | 45,92 | 30,37 | 30,62 | 72,79 | 61,67 | 41,43 | 33,38 | 43,09 | 28,56 | 41,07 | 43,59 | 33,07 | 28,56 |
| 2013 | 27,35 | 30,4 | 27,35 | 41,45 | 67,66 | 39,54 | 28,11 | 29,26 | 36,88 | 37,64 | 58,56 | 45,58 | 27,35 |
| 2014 | 35,73 | 33,83 | 36,88 | 36,88 | 56,56 | 33,45 | 27,35 | 25,67 | 26,51 | 35,35 | 56,56 | 27,35 | 25,67 |
| 2015 | 27,35 | 28,49 | 31,92 | 59,83 | 36,49 | 26,51 | 31,92 | 39,22 | 22,31 | 22,87 | 47,08 | 23,43 | 22,31 |

Tabla N.1 Datos de los caudales mensuales mínimos vigentes 1955-2015 (IDEAM)

El procedimiento aplicado fue el siguiente:

- a) Se grafican y se analizan cada variable caudal vs tiempo, representándola gráficamente en una serie de tiempo.
- b) Se suaviza las fluctuaciones representadas en el comportamiento de la serie, por medio de la media móvil.
- c) Se compara el anterior resultado con la compilación de los datos en un software llamado labview el cual muestra el comportamiento de la variable también suavizada.
- d) Al tener el resultado de las funciones en labview, se somete a una transformada de Fourier para interpretar su comportamiento de forma periódica y así mismo poder analizar estadísticamente el comportamiento de la variable por las características de las series de tiempo.
- e) El resultado del comportamiento de la variable de forma periódica, se fusiona con un ruido blanco con el fin de analizar la cantidad de energía o espectro generado a través del tiempo.
- f) Análisis de todos los resultados.

6. DESARROLLO DEL PROYECTO

6.1) Planteamiento teórico:

Para el desarrollo del presente trabajo, se analizó e interpreto todos los datos de los caudales mínimos, observando que algunos datos, venían con errores de digitación, se procedió en corregirlos. Como primer medida se grafica el comportamiento de los mismos, se identifica los caudales mínimos como la variable de estudio principal versus el tiempo, al tener su respectiva gráfica, se procede a mitigar las grandes fluctuaciones que tenía, utilizando la expresión matemática de Media móvil, con un periodo $n=3$, ya que según (MONTENEGRO, SERIES DE

TIEMPO, 2005) “si M es un numero par, los promedios móviles ocurrirán entre los puntos de tiempo en lugar de en los puntos del tiempo” , siendo así que no se lograría un buen punto de comparación con los valores reales, y en el caso de que M sea muy grande en este caso igual a 5, los datos tanto como los finales y los iniciales no tendrán un valor suavizado, y no tendrían una consideración tan confiable como con los periodos bajos.

Se aplica la fórmula de media móvil y se obtiene los diferentes comportamientos de la variable Caudal, de forma suavizada en cada uno de sus meses. Luego se procede hacer el respectivo análisis de cada uno de las gráficas, teniendo en cuenta las cuatro componentes principales de la teoría de series de tiempo, el cual son: su variación aleatoria, los efectos estacionales, efectos cíclicos y la tendencia a largo plazo.

Matemáticamente se expresa de la siguiente forma:

$$y_t = \frac{Y_t - \frac{M-1}{2} + Y_{t+1} - \frac{M-1}{2} + Y_{t+2} - \frac{M-1}{2} + \dots + Y_{t+(M-1)/2}}{M}$$

Expresión N.5 Promedio Móvil⁴

Se procede a sacar el suavizado con la anterior ecuación, con los datos de la variable caudal para cada uno de los meses, durante el tiempo estudiado desde el año 1955 hasta el 2015.

Para el mes de enero desde 1955 hasta 2015:

Periodo M = 3 es el valor óptimo que se definió⁵; valores reales y suavizados con media móvil del mes de enero, presente en la siguiente página.

⁴ Cabe resaltar que esta expresión matemática es igual a la expresión N.3 que es la de tendencia línea móvil, la diferencia es que es más explícita la N.4 que la N.3

⁵ Explicación del periodo n=3 páginas 24 y 25, primer párrafo del punto 6.1.

| DATOS REALES | DATOS ENERO SUAVIZADOS |
|--------------|------------------------|
| 32,34 | 32,34 |
| 32,34 | 28,96 |
| 32,34 | 25,38 |
| 22,2 | 25,2 |
| 21,6 | 28,86666667 |
| 31,8 | 31,2 |
| 33,2 | 29,1 |
| 28,6 | 24,36666667 |
| 25,5 | 25,2 |
| 19 | 25,9 |
| 31,1 | 31,9 |
| 27,6 | 30,03333333 |
| 37 | 32,66666667 |
| 25,5 | 31,66666667 |
| 35,5 | 43,83333333 |
| 34 | 54,63333333 |
| 62 | 50,66666667 |
| 67,9 | 45,5 |
| 22,1 | 30,63333333 |
| 46,5 | 33,26666667 |
| 23,3 | 24,16666667 |
| 30 | 23,83333333 |
| 19,2 | 22,03333333 |
| 22,3 | 24,26666667 |
| 24,6 | 25 |
| 25,9 | 26,8 |
| 24,5 | 31,39666667 |
| 30 | 35,83 |
| 39,69 | 37,26333333 |
| 37,8 | 34,86666667 |
| 34,3 | 30,6 |
| 32,5 | 27,5 |
| 25 | 37,93333333 |
| 25 | 39,26666667 |
| 63,8 | 38,86666667 |
| 29 | 25,7 |
| 23,8 | 26 |
| 24,3 | 27,73333333 |
| 29,9 | 28,36666667 |
| 29 | 30,13333333 |
| 26,2 | 32,03333333 |
| 35,2 | 29,16666667 |
| 34,7 | 36,5 |
| 17,6 | 38,06666667 |
| 57,2 | 40,6 |
| 39,4 | 30,26666667 |
| 25,2 | 23,8 |
| 26,2 | 25,7 |
| 20 | 30,83333333 |
| 30,9 | 36,86666667 |
| 41,6 | 40,09333333 |
| 38,1 | 41,25333333 |
| 40,58 | 41,60333333 |
| 45,08 | 34,77666667 |
| 39,15 | 32,07333333 |
| 20,1 | 34,33 |
| 36,97 | 36,74666667 |
| 45,92 | 36,33333333 |
| 27,35 | 30,14333333 |
| 35,73 | |
| 27,35 | |

Tabla N.2 valores Reales y suavizados de media móvil, del mes de en enero

Cabe resaltar que los últimos dos valores que están en blanco en los datos suavizados de las celdas, no tienen valor, porque al ser media móvil, siempre toma el número de datos dependiendo del periodo y en este caso al ser 3, faltaría un valor para que se complete la media, es por esta razón que si se toman valores muy grandes, en el caso de un M=5 esta no resultaría una consideración no tan seria como la del M=3, ya que serían más valores sin suavizar, es decir datos ausentes sin valor suavizado.

Para el primer valor suavizado sería:

$$yt1 = \frac{32,34+32,34+32,34}{3} = 32,34$$

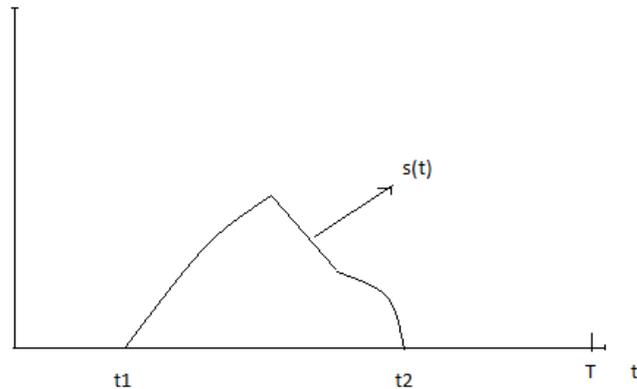
$$yt2 = \frac{32,34+32,34+22,2}{3} = 28,96$$

Es así como se obtienen cada uno de los resultados de los caudales de forma suavizada en el mes de enero con la media móvil, los demás datos los encuentra en la tabla N.2 p.27.

Al realizar el análisis de las anteriores graficas ya mencionadas, se crea una base de datos de ruido blanco, el cual teóricamente se conoce como media cero y con varianza constante. Lo anterior es con el fin de realizar otro procedimiento diferente a la media móvil, implementando un software llamado labview, donde por medio de este, se realizara la aplicación de la transformada de Fourier expuesta en el punto 4.1.3. Es importante resaltar en esta parte sobre las señales periódicas complejas, el cual es el resultado de la aplicación de Fourier, siendo estas la adición de oscilaciones con frecuencias, con características fundamentales de su resultado espectral, donde contiene la información sobre las amplitudes y sus respectivas fases armónicas.

Matemáticamente decimos que al aplicar una transformada de Fourier hace que un comportamiento de la variable caudal aperiódica se vuelva periódica y así mismo logre comprimir sus variaciones armónicas, dejando sus periodos constantes, en este caso el software, hace el siguiente procedimiento:

Tenemos un comportamiento de la variable caudal, en un lapso de tiempo el cual la definiremos como, señal S (t):



Grafica N.1 Señal s (t)

Tomando un lapso de tiempo, se analiza primero esta señal con la forma de una serie de Fourier, donde implementando la formula tenemos:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{in\varphi_1 t} \quad 0 < t < T$$

Expresión 6. Señal s (t).

Donde φ_1 es igual a la frecuencia representada en $2\pi/T$, mientras que c_n es la multiplicación de una integral con una constante:

$$c_n = \frac{1}{T} \int_{t1}^{t2} s(t) e^{-in\varphi_1 t} dt$$

Expresión 7. Constante aperiódico

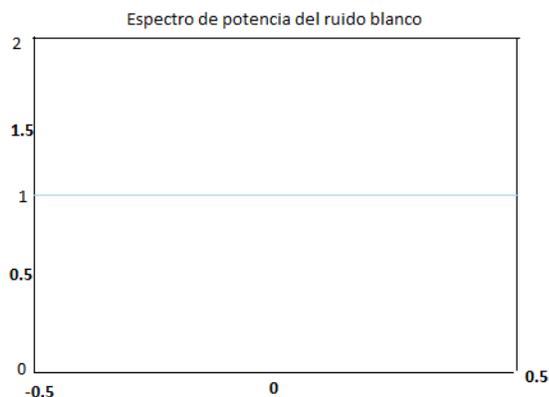
Al sustituir la expresión 7 en la 6, teniendo en cuenta que en esta parte de la sustitución, el periodo es igual a $2\pi/\varphi_1$, resaltándose que está fuera del intervalo cero, quiere decir que la

periodo en la expresión 6 determina una función periódica que se obtuvo por repetición $s(t)$ a derecha e izquierda con periodo T . Al resolverse los movimientos armónicos que se componen en esta serie, su comportamiento será muy grande, por lo anterior cuando el periodo tienda al infinito, entonces la frecuencia tendera a cero, se recuerda que es solo cuando T , tienda al infinito de lo contrario no. Al tener claro ya lo anterior y ejecutando la expresiones matemáticas ya mencionadas, se logra obtener el resultado de la densidad espectral de la frecuencia. (GONOROVSKI, 1972)

$$s(\varphi) = \int_{t_1}^{t_2} s(t) e^{-i\varphi t} dt$$

Expresión 8. Densidad Espectral

Ya por último teniendo la densidad espectral se realiza la hibridación o adición, en el espectro con un ruido blanco, resultado de la transformada de Fourier, el cual teóricamente al adicionar lo ($S(1) + R(0, \sigma^2)$), su resultado debe ser un comportamiento constante, el cual su potencia es la misma en cada uno de los periodos del comportamiento de la misma, así como se ilustra en la siguiente gráfica:



Grafica N.2 Espectro de potencia del Ruido Blanco⁶

La expresión matemática que explica este comportamiento, se expresa por un comportamiento de auto correlación, es decir que se necesitan de los valores pasados para generar una

⁶ Elaboración propia.

estructura del comportamiento de la variable en su ecuación, debe sustituir la media igual a cero, pero con una varianza constante, lo cual sería:

$$\gamma_x(t) = \frac{W_0}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} d\omega = w_0 \delta(t).$$

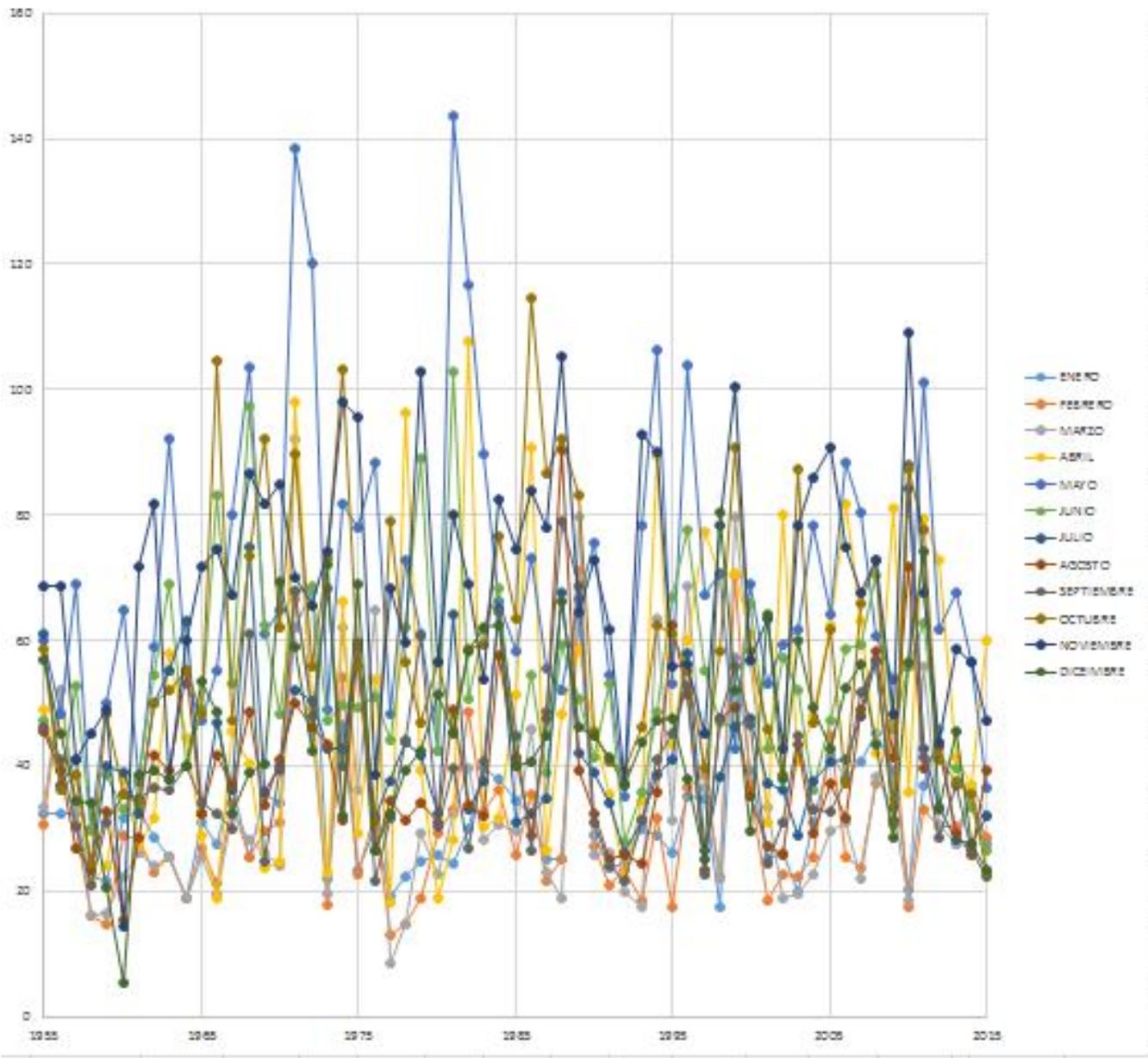
Expresión 9. Transformaciones de Fourier con ruido blanco

Es de vital importancia que la potencia $w_x(\omega) = w_0 = \text{constante}$ para que pueda ejecutarse la respectiva expresión y de como resultado el comportamiento de la variable como constante. (GONOROVSKI, 1972)

Con base a lo anterior estos procesos se realizaron automáticamente en el software Labview teniendo como tal, la representación gráfica del comportamiento, tanto de la variable normal, con su respectivo espectro y su espectro con ruido blanco, que se presentaran en el siguiente punto.

6.2 Presentación de resultados:

Las siguientes graficas muestran el comportamiento normal de las variables, todas inmersas en una sola gráfica, donde posteriormente se mostrara una por una, con su respectivo proceso de suavizado por el sistema de Media Móvil.



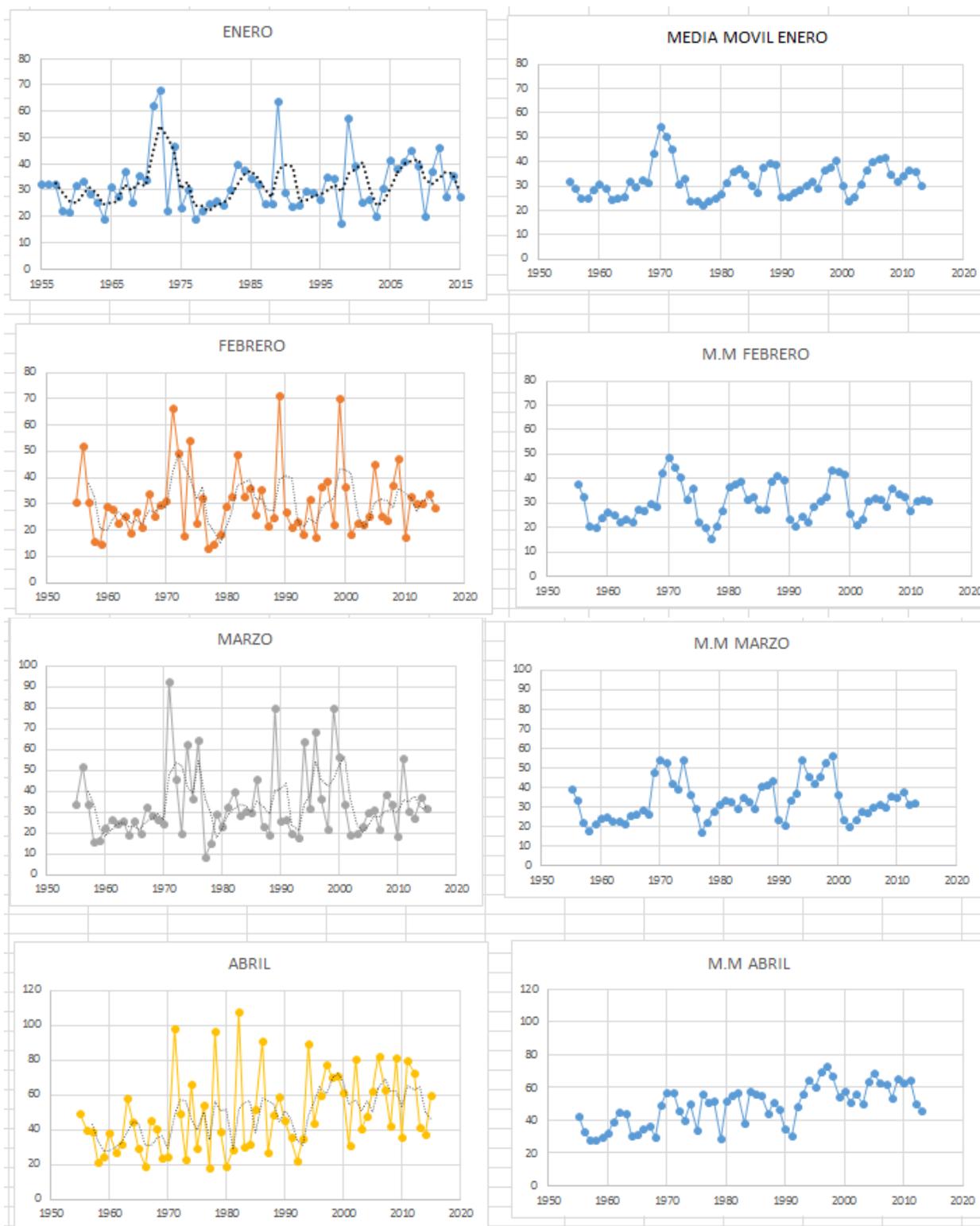
Grafica N.3 comportamiento de los caudales mínimos mensuales

Siendo así se presentan los valores obtenidos por la media móvil en cada uno de los caudales mínimos mensuales, suministrados por el IDEAM:

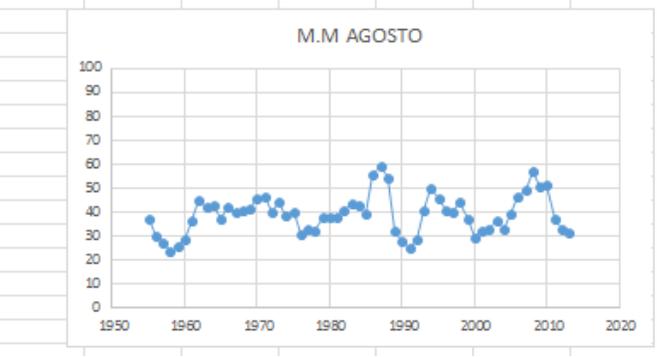
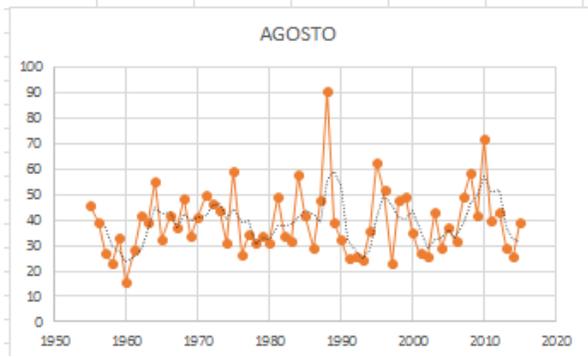
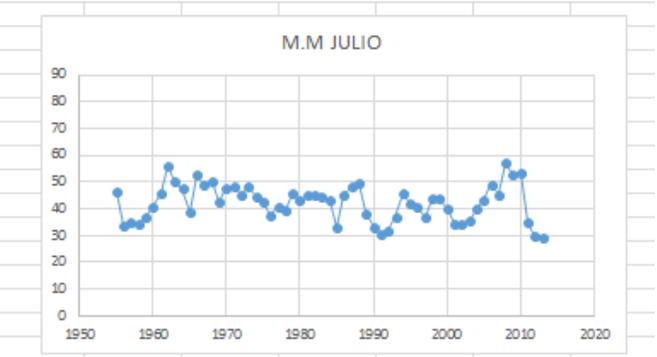
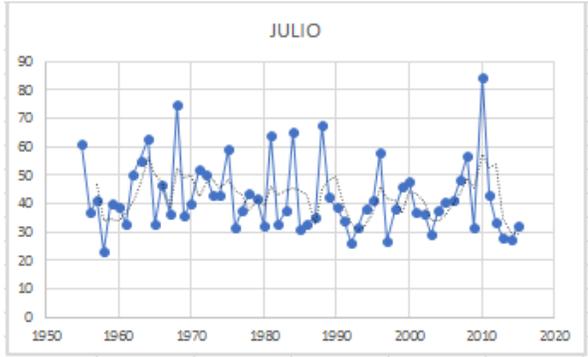
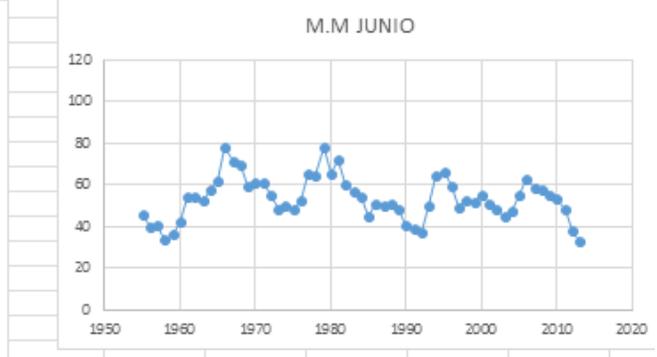
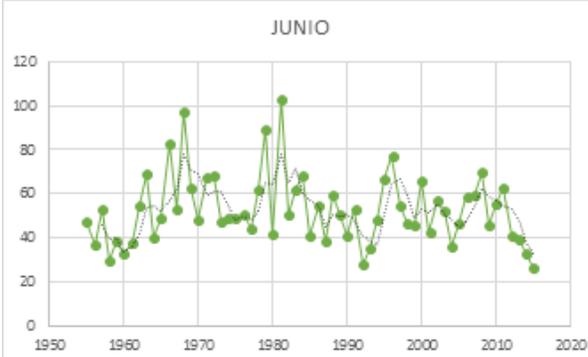
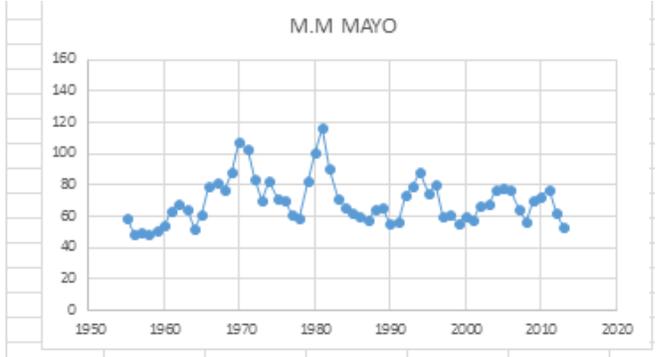
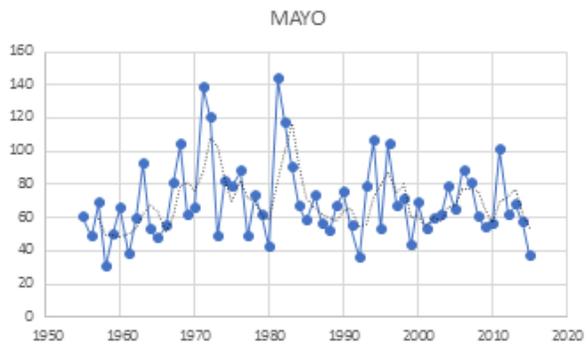
| RESULTADO DEL SUAVIZADO DE CADA UNO DE LOS MESES, CON PERIODO M = 3 | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| AÑOS | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DECIEMBRE |
| 1955 | | | | | | | | | | | | |
| 1956 | 32,34 | 37,77333333 | 39,68666667 | 42,47666667 | 59,04666667 | 45,69333333 | 46,3 | 37,17333333 | 39,2 | 44,42666667 | 59,38 | 45,48 |
| 1957 | 28,96 | 32,88666667 | 33,84333333 | 33,23333333 | 49,04666667 | 39,86 | 33,7 | 29,77333333 | 30,76666667 | 33,06666667 | 51,54 | 37,81333333 |
| 1958 | 25,38 | 20,48666667 | 22,04333333 | 27,96666667 | 49,68 | 40,36 | 34,7 | 27,63333333 | 27,5 | 37,13333333 | 44,96666667 | 29,66666667 |
| 1959 | 25,2 | 19,93333333 | 18,26666667 | 27,73333333 | 48,33333333 | 33,76666667 | 34,03333333 | 23,83333333 | 29,2 | 36,13333333 | 36,1 | 19,96666667 |
| 1960 | 28,86666667 | 24,03333333 | 21,66666667 | 29,7 | 50,8 | 36,6 | 37,13333333 | 25,63333333 | 33,8 | 39,3 | 45,03333333 | 21,46666667 |
| 1961 | 31,2 | 26,73333333 | 24,2 | 32,23333333 | 53,8 | 41,93333333 | 40,46666667 | 28,63333333 | 35,63333333 | 39,83333333 | 56,06666667 | 27,66666667 |
| 1962 | 29,1 | 25,56666667 | 25,3 | 38,96666667 | 62,8 | 53,9 | 45,83333333 | 36,53333333 | 35,86666667 | 45,33333333 | 63,83333333 | 38,5 |
| 1963 | 24,36666667 | 22,46666667 | 22,9 | 44,76666667 | 68 | 54,5 | 56 | 45,33333333 | 37,6 | 52,33333333 | 59,9 | 39 |
| 1964 | 25,2 | 23,8 | 23,33333333 | 43,83333333 | 64,06666667 | 52,66666667 | 50,16666667 | 42,23333333 | 36,73333333 | 51,7 | 56,56666667 | 43,76666667 |
| 1965 | 25,9 | 22,4 | 21,36666667 | 30,83333333 | 51,73333333 | 57,33333333 | 47,43333333 | 43,1 | 35,5 | 69,2 | 68,8 | 47,36666667 |
| 1966 | 31,9 | 27,4 | 25,86666667 | 31,13333333 | 60,73333333 | 61,66666667 | 38,5 | 37,1 | 32,16666667 | 66,6 | 71,16666667 | 44,86666667 |
| 1967 | 30,03333333 | 26,93333333 | 26,8 | 34,86666667 | 79,56666667 | 77,73333333 | 52,66666667 | 42,46666667 | 41,16666667 | 75,03333333 | 76,06666667 | 39,96666667 |
| 1968 | 32,66666667 | 29,73333333 | 29 | 36,4 | 81,63333333 | 70,9 | 49 | 39,73333333 | 38,6 | 70,96666667 | 78,53333333 | 37,23333333 |
| 1969 | 31,66666667 | 28,76666667 | 26,23333333 | 29,53333333 | 76,63333333 | 69,26666667 | 50,26666667 | 41,03333333 | 41,66666667 | 75,9 | 84,43333333 | 49,46666667 |
| 1970 | 43,83333333 | 42,43333333 | 47,53333333 | 48,76666667 | 88,23333333 | 59,4 | 42,6 | 41,5 | 44 | 81,3 | 78,93333333 | 56,2 |
| 1971 | 54,63333333 | 48,96666667 | 54 | 57,2 | 107,86666667 | 61,4 | 47,4 | 45,73333333 | 51,73333333 | 69,2 | 73,53333333 | 56,86666667 |
| 1972 | 50,66666667 | 44,6 | 52,5 | 56,63333333 | 102,46666667 | 61,1 | 48,3 | 46,6 | 61,4 | 72,93333333 | 69,96666667 | 57,83333333 |
| 1973 | 45,5 | 40,5 | 42,5 | 46,06666667 | 83,6 | 55,06666667 | 45,23333333 | 40,33333333 | 52,03333333 | 77,46666667 | 79,26666667 | 48,86666667 |
| 1974 | 30,63333333 | 31,6 | 39,36666667 | 39,46666667 | 69,53333333 | 48,7 | 48,23333333 | 44,6 | 55,93333333 | 77,4 | 89,26666667 | 57,76666667 |
| 1975 | 33,26666667 | 36,33333333 | 54,36666667 | 49,66666667 | 82,7 | 49,96666667 | 44,5 | 38,9 | 40,43333333 | 63,33333333 | 77,4 | 42,53333333 |
| 1976 | 24,16666667 | 22,56666667 | 36,43333333 | 33,7 | 71,43333333 | 48,13333333 | 42,8 | 39,96666667 | 37,7 | 55,23333333 | 67,53333333 | 42,63333333 |
| 1977 | 23,83333333 | 19,93333333 | 29,3 | 56,06666667 | 69,76666667 | 52,36666667 | 37,6 | 30,66666667 | 32,53333333 | 55,46666667 | 55,53333333 | 32,73333333 |
| 1978 | 22,03333333 | 15,43333333 | 17,43333333 | 51,23333333 | 60,7 | 65,03333333 | 40,96666667 | 33,2 | 45,53333333 | 60,76666667 | 76,93333333 | 38 |
| 1979 | 24,26666667 | 20,83333333 | 22,23333333 | 51,36666667 | 58,76666667 | 64,43333333 | 39,2 | 32,03333333 | 45,03333333 | 53,3 | 72,96666667 | 44,3 |
| 1980 | 25 | 26,93333333 | 28,13333333 | 28,73333333 | 82,3 | 78 | 46 | 37,96666667 | 43,46666667 | 49,63333333 | 79,8 | 46,26666667 |
| 1981 | 26,8 | 36,93333333 | 31,6 | 51,6 | 100,8 | 65,26666667 | 43,13333333 | 37,83333333 | 32,13333333 | 53,53333333 | 68,6 | 51,66666667 |
| 1982 | 31,39666667 | 38,13 | 33,41333333 | 55,5 | 116,6 | 71,8 | 44,86666667 | 38,2 | 35,56666667 | 54,43333333 | 67,73333333 | 55,23333333 |
| 1983 | 35,83 | 39,16333333 | 32,74666667 | 56,56666667 | 90,86666667 | 60,26666667 | 45,3 | 41,03333333 | 43,93333333 | 64,8 | 68,46666667 | 60,9 |
| 1984 | 37,26333333 | 31,56333333 | 29,41333333 | 37,76666667 | 71,46666667 | 56,93333333 | 44,63333333 | 43,63333333 | 49,93333333 | 66,46666667 | 70,23333333 | 54,8 |
| 1985 | 34,86666667 | 32,5 | 35,3 | 57,93333333 | 65,9 | 54,53333333 | 42,93333333 | 42,63333333 | 45,26666667 | 84,9 | 80,26666667 | 47,66666667 |
| 1986 | 30,6 | 27,66666667 | 32,8 | 56,26666667 | 62,3 | 44,73333333 | 32,8 | 39,33333333 | 39,96666667 | 88,26666667 | 78,76666667 | 41,8 |
| 1987 | 27,5 | 27,66666667 | 29,23333333 | 55,2 | 60,16666667 | 50,9 | 45,03333333 | 55,66666667 | 51,4 | 97,83333333 | 89,06666667 | 50,5 |
| 1988 | 37,93333333 | 39,26666667 | 40,46666667 | 44,43333333 | 57,96666667 | 49,63333333 | 48,23333333 | 59,06666667 | 65,43333333 | 87,4 | 82,53333333 | 52,3 |
| 1989 | 39,26666667 | 41,1 | 41,36666667 | 50,8 | 64,6 | 50,46666667 | 49,6 | 53,96666667 | 59,5 | 73,7 | 80,8 | 52,33333333 |
| 1990 | 38,86666667 | 39,8 | 43,8 | 46,6 | 65,43333333 | 48,36666667 | 38,43333333 | 32,23333333 | 41,13333333 | 56,5 | 66,33333333 | 44,03333333 |
| 1991 | 25,7 | 23,83333333 | 23,93333333 | 34,36666667 | 55,03333333 | 40,76666667 | 33,13333333 | 27,73333333 | 25,5 | 41,9 | 57,23333333 | 40,93333333 |
| 1992 | 26 | 20,96666667 | 21,23333333 | 30,66666667 | 56 | 38,9 | 30,6 | 25,06666667 | 25,66666667 | 42,1 | 63,9 | 40,56666667 |
| 1993 | 27,73333333 | 24,53333333 | 33,66666667 | 48,63333333 | 73,23333333 | 37,43333333 | 32 | 28,56666667 | 31,4 | 49,3 | 73,23333333 | 42,5 |
| 1994 | 28,36666667 | 22,63333333 | 37,46666667 | 55,76666667 | 79,16666667 | 50,36666667 | 36,93333333 | 40,76666667 | 39,23333333 | 56,53333333 | 79,46666667 | 46,1 |
| 1995 | 30,13333333 | 28,66666667 | 54,43333333 | 64,26666667 | 87,66666667 | 64,3 | 45,8 | 49,83333333 | 46,4 | 59,46666667 | 67,26666667 | 44,13333333 |
| 1996 | 32,03333333 | 30,93333333 | 45,5 | 60,23333333 | 74,63333333 | 66,43333333 | 41,86666667 | 45,7 | 40,3 | 51,9 | 52,36666667 | 36,83333333 |
| 1997 | 29,16666667 | 32,5 | 42,33333333 | 69,23333333 | 80,53333333 | 59,73333333 | 40,96666667 | 40,8 | 41,06666667 | 51 | 59,83333333 | 47,8 |
| 1998 | 36,5 | 43,73333333 | 46,03333333 | 72,8 | 60,2 | 49,3 | 37 | 40,03333333 | 42,03333333 | 62,86666667 | 74,6 | 52,6 |
| 1999 | 38,06666667 | 43,06666667 | 52,63333333 | 67,36666667 | 60,8 | 52,93333333 | 43,96666667 | 44 | 49,96666667 | 69,06666667 | 78,53333333 | 54,03333333 |
| 2000 | 40,6 | 41,8 | 56,51 | 54,2 | 54,96666667 | 51,63333333 | 43,56666667 | 37,16666667 | 42,23333333 | 64,83333333 | 73,66666667 | 48,56666667 |
| 2001 | 30,26666667 | 25,96666667 | 36,31 | 57,33333333 | 60,43333333 | 55,3 | 40,23333333 | 29,33333333 | 33,96666667 | 47,46666667 | 54,46666667 | 43,83333333 |
| 2002 | 23,8 | 21,23333333 | 24,01 | 50,5 | 58,03333333 | 50,73333333 | 34,06666667 | 32,03333333 | 33,33333333 | 57,2 | 61,53333333 | 54 |
| 2003 | 25,7 | 23,56666667 | 20,43333333 | 56,23333333 | 66,36666667 | 48,56666667 | 34,16666667 | 32,7 | 36,26666667 | 57,53333333 | 68,96666667 | 49,06666667 |
| 2004 | 30,83333333 | 30,93333333 | 23,93333333 | 50,3 | 68 | 45,2 | 35,73333333 | 36,53333333 | 36,83333333 | 65,26666667 | 85 | 50,6 |
| 2005 | 36,86666667 | 31,96666667 | 27,73333333 | 64,01333333 | 76,86333333 | 47,38666667 | 39,75333333 | 32,7 | 34,48333333 | 48,57 | 83,87666667 | 48,07666667 |
| 2006 | 40,09333333 | 31,36666667 | 27,45666667 | 69,06 | 77,54333333 | 55,07 | 43,30666667 | 39,32666667 | 40,64666667 | 54,98 | 77,81666667 | 50,43333333 |
| 2007 | 41,25333333 | 28,82666667 | 30,32333333 | 62,34333333 | 76,36 | 62,77333333 | 48,69333333 | 46,31333333 | 48,53666667 | 58,68333333 | 71,75333333 | 50,70666667 |
| 2008 | 41,60333333 | 36,09666667 | 31,2 | 62,10666667 | 64,89 | 58,48666667 | 45,45666667 | 49,51333333 | 47,08666667 | 56,47 | 62,84666667 | 42,69333333 |
| 2009 | 34,77666667 | 33,99666667 | 30,02666667 | 52,99666667 | 56,73333333 | 57,33666667 | 57,52 | 57,05 | 59,27333333 | 63,58333333 | 76,06666667 | 42,77666667 |
| 2010 | 32,07333333 | 32,52666667 | 35,98333333 | 65,45333333 | 70,28333333 | 54,87666667 | 52,77 | 50,88333333 | 54,3 | 65,16666667 | 74,92333333 | 53,03666667 |
| 2011 | 34,33 | 26,88 | 35,01333333 | 62,70666667 | 72,88 | 53,38666667 | 53,44666667 | 51,44666667 | 52,72 | 68,63333333 | 73,41666667 | 54,59666667 |
| 2012 | 36,74666667 | 31,21333333 | 37,98 | 64,58666667 | 76,84333333 | 47,93333333 | 34,73333333 | 37,33666667 | 35,63 | 52,09 | 56,60333333 | 50,95 |
| 2013 | 36,33333333 | 31,53333333 | 31,61666667 | 50,37333333 | 61,96333333 | 38,14 | 29,61333333 | 32,67333333 | 30,65 | 38,02 | 52,90333333 | 35,33333333 |
| 2014 | 30,14333333 | 30,90666667 | 32,05 | 46,05333333 | 53,57 | 33,16666667 | 29,12666667 | 31,38333333 | 28,56666667 | 31,95333333 | 54,06666667 | 32,12 |
| 2015 | | | | | | | | | | | | |

Tabla N. 3 Suavizado de los caudales mínimos mensuales.

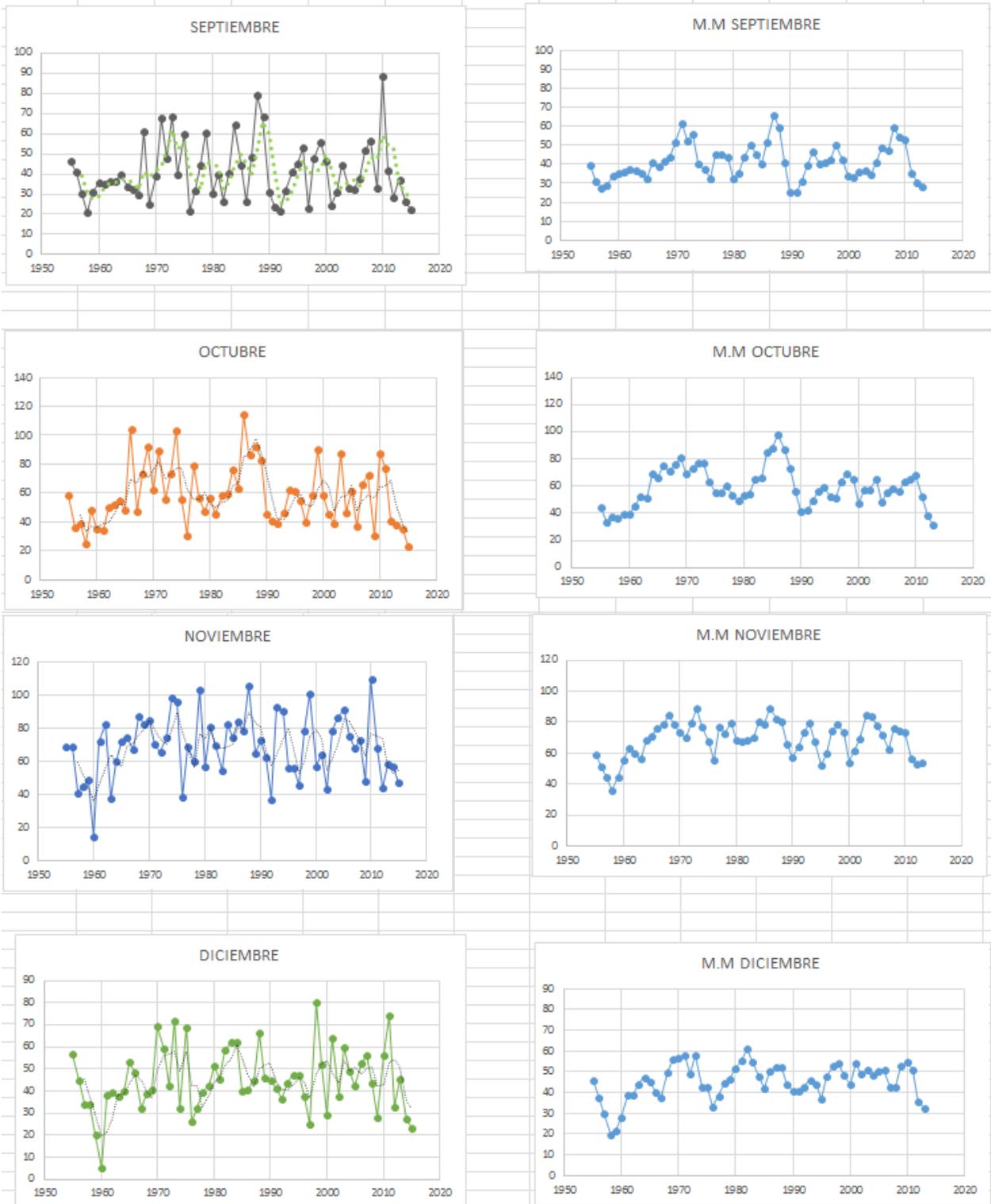
Con base a la tabla anterior estos son cada uno de las representaciones graficas del comportamiento de los caudales mínimos por mes durante los años de 1955 hasta el 2015:



Grafica N.4 Caudales desde enero hasta abril con su respectivo suavizado



Grafica N.5 Caudales desde Mayo hasta Agosto con su respectivo suavizado



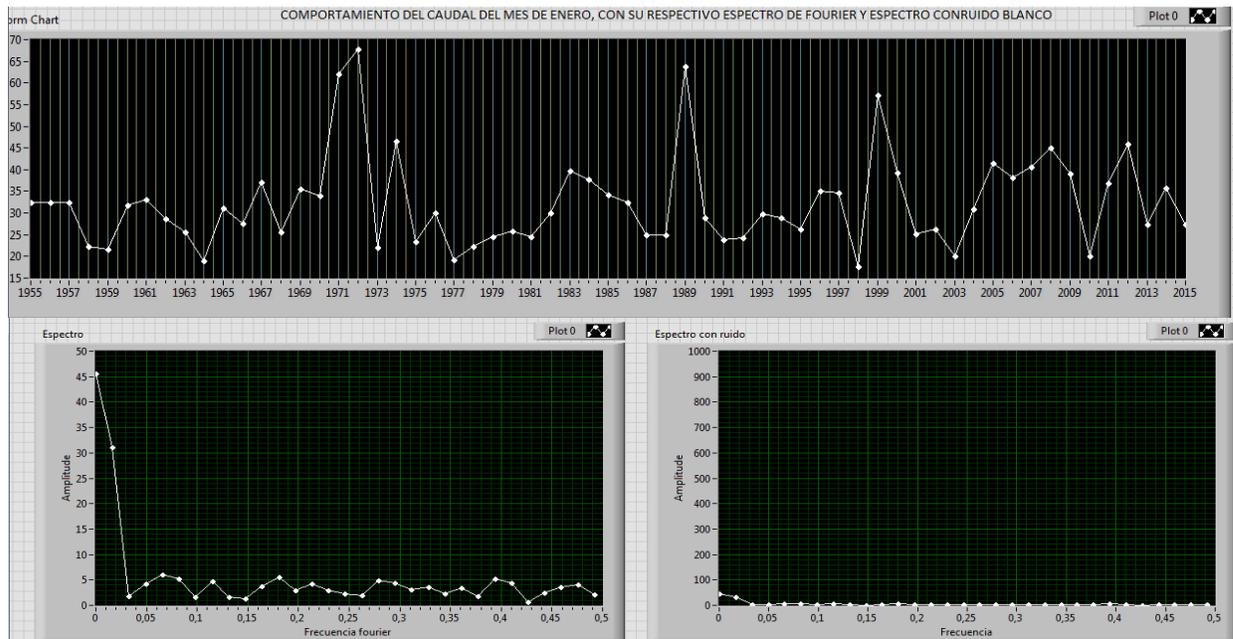
Grafica N.6 Caudales desde Septiembre hasta Diciembre con su respectivo suavizado.

Los siguientes valores son un resultado aleatorio elaborado en Excel, siendo estos los datos del ruido blanco, el cual se identifica como media cero y de varianza constante, donde en este caso tomamos como valor 1, posteriormente se incorpora en el software y realiza la transformación con el espectro de Fourier:

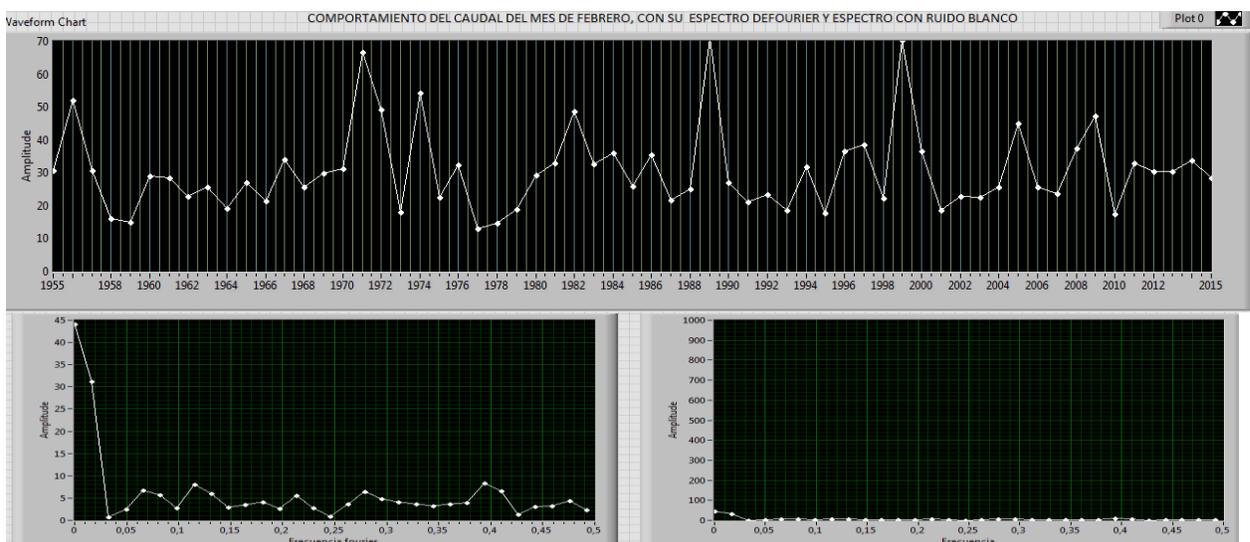
| |
|-------------|
| -0,30023216 |
| -1,27768317 |
| 0,24425731 |
| 1,27647354 |
| 1,19835022 |
| 1,7331331 |
| -2,18358764 |
| -0,23418124 |
| 1,09502253 |
| -1,08670065 |
| -0,69020416 |
| -1,69043233 |
| -1,84691089 |
| -0,9776295 |
| -0,77350705 |
| -2,11793122 |
| -0,56792487 |
| -0,40404757 |
| 0,13485305 |
| -0,36549295 |
| -0,32699063 |
| -0,37024051 |
| 1,34264155 |
| -0,08528446 |
| -0,18615765 |
| -0,5132074 |
| 1,97221198 |
| 0,86567297 |
| 2,37565473 |
| -0,65490667 |
| 1,66145583 |
| -1,61239768 |
| 0,53894837 |
| 0,90219146 |
| 1,91891559 |
| -0,08451707 |
| -0,52379505 |
| 0,67513838 |
| -0,38132384 |
| 0,75761136 |
| -1,44418664 |
| -0,84723752 |
| -1,52157099 |
| -0,36287702 |
| -0,03247919 |
| 0,02811703 |
| -0,32271601 |
| 2,19450158 |
| -1,74248271 |
| -0,73647698 |
| -2,57758074 |
| 1,44767 |
| -1,27976364 |
| -0,65357995 |
| 0,75771368 |
| 0,46671175 |
| 0,87460876 |
| 0,59574177 |
| -1,37184998 |
| -1,11573854 |

Tabla 4. Datos Ruido blanco

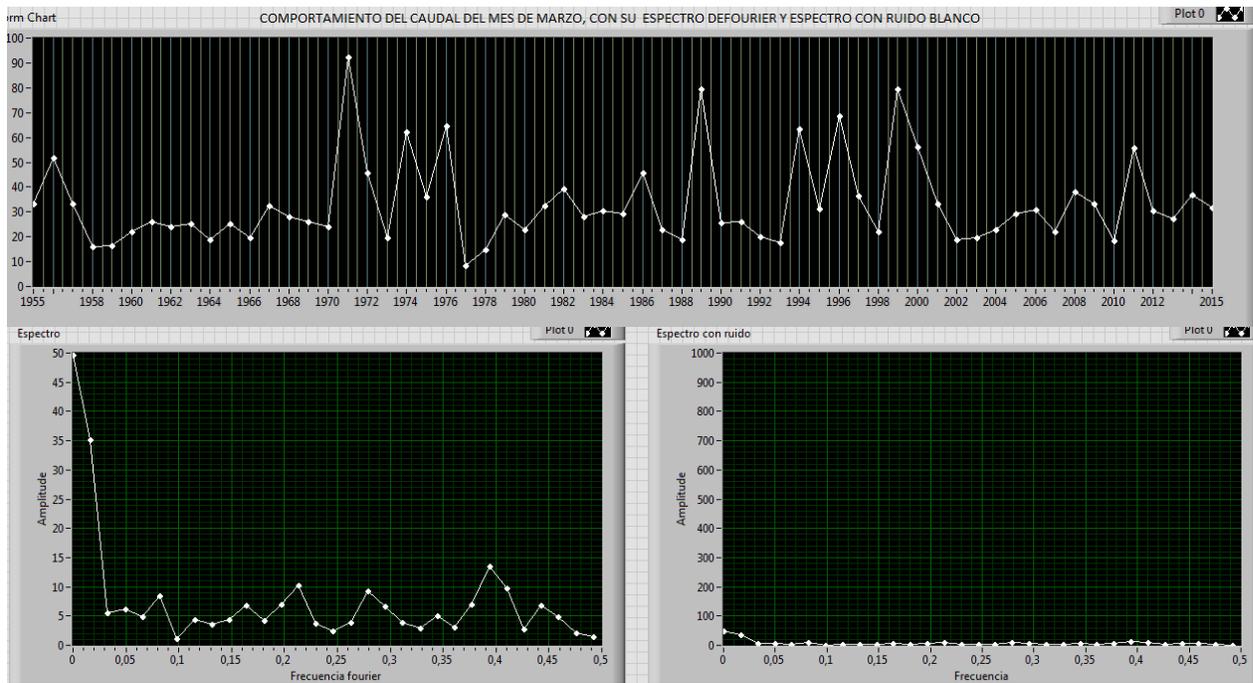
Al tener el suavizado de los caudales mínimos mensuales de las gráficas anteriores, se procede a implementar el software labview, para que muestre gráficamente el espectro de los caudales de cada mes y también el comportamiento que tendrá con el ruido blanco:



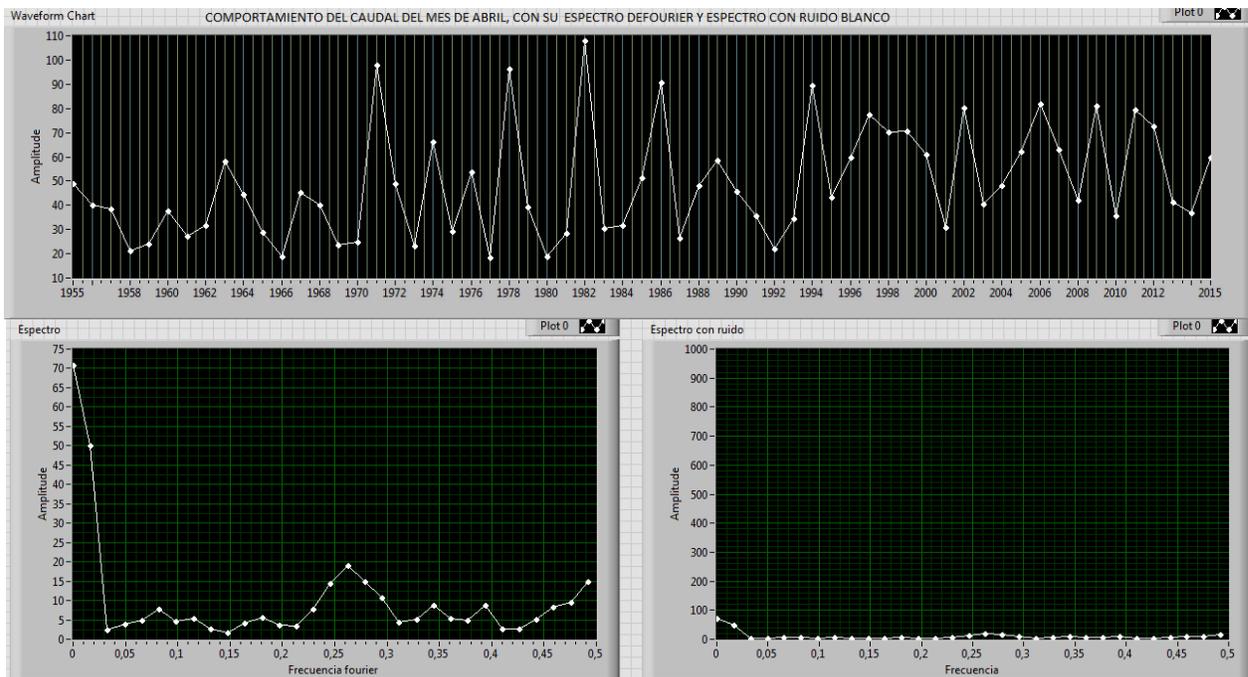
Grafica N. 7 Caudal del mes de Enero con su espectro y espectro con ruido blanco..



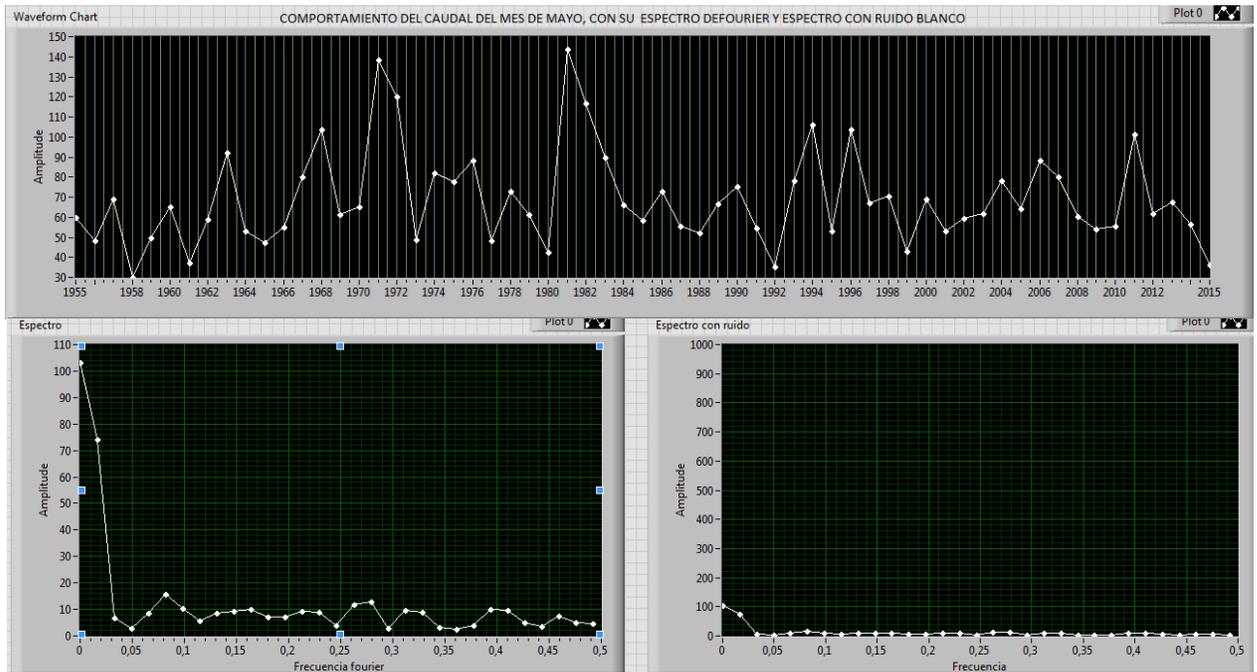
Grafica N. 8 Caudal del mes de Febrero con su espectro y espectro con ruido blanco.



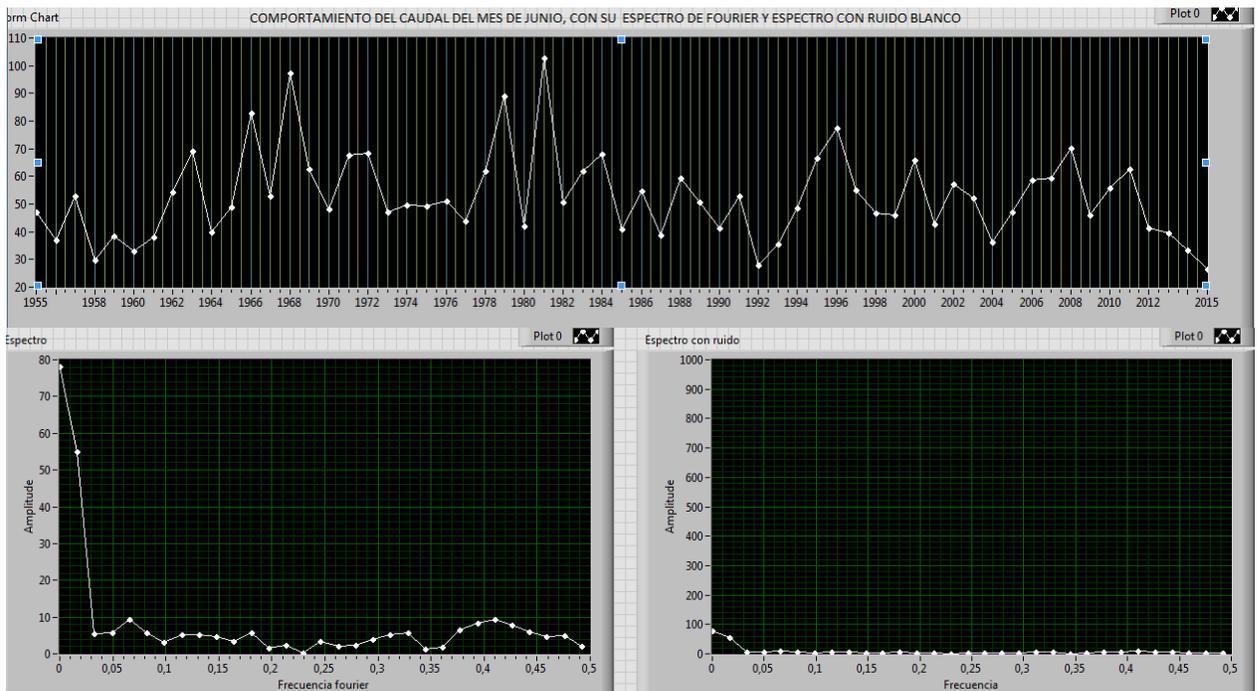
Grafica N. 9 Caudal del mes de Marzo con su espectro y espectro con ruido blanco.



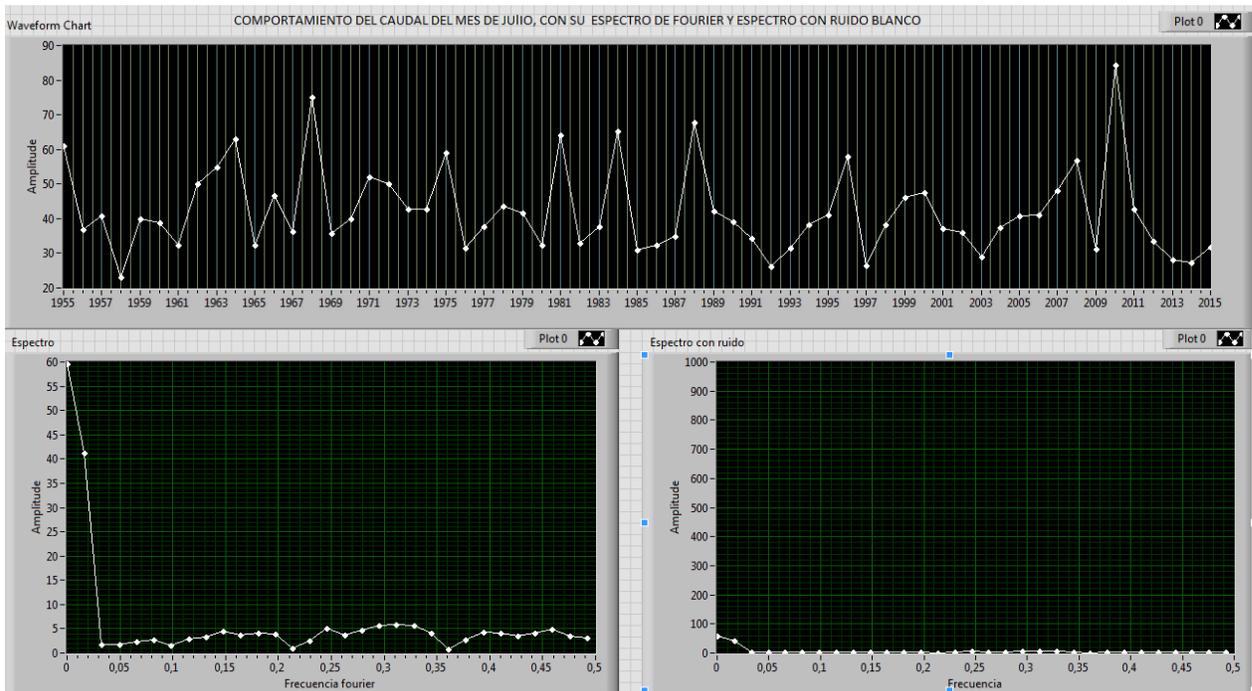
Grafica N. 10 Caudal del mes de Abril con su espectro y espectro con ruido blanco.



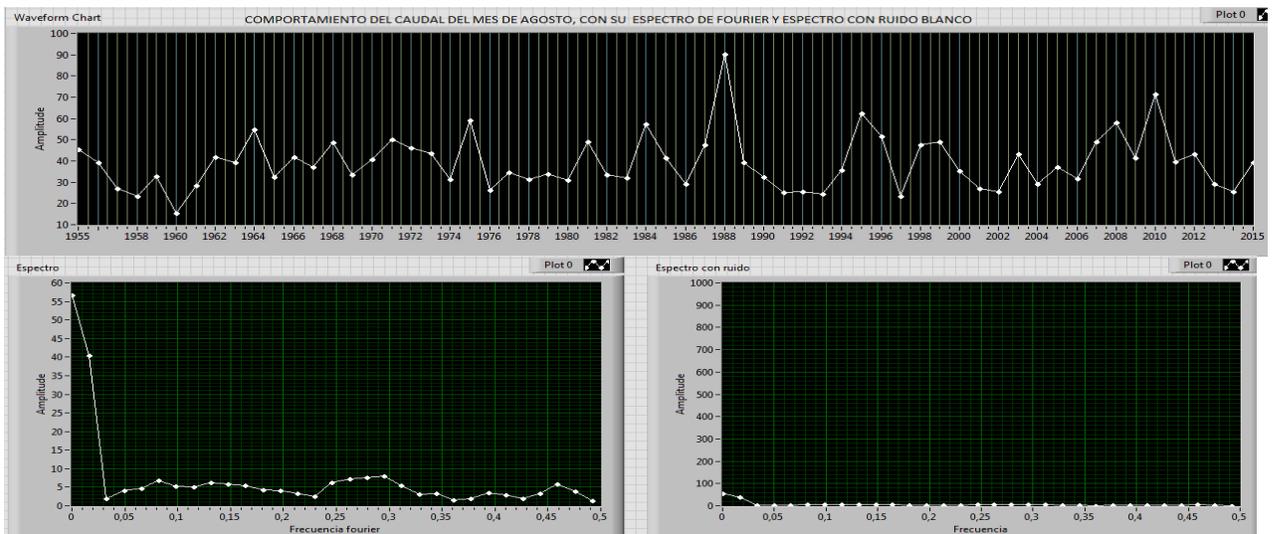
Grafica N. 11 Caudal del mes de Mayo con su espectro y espectro con ruido blanco.



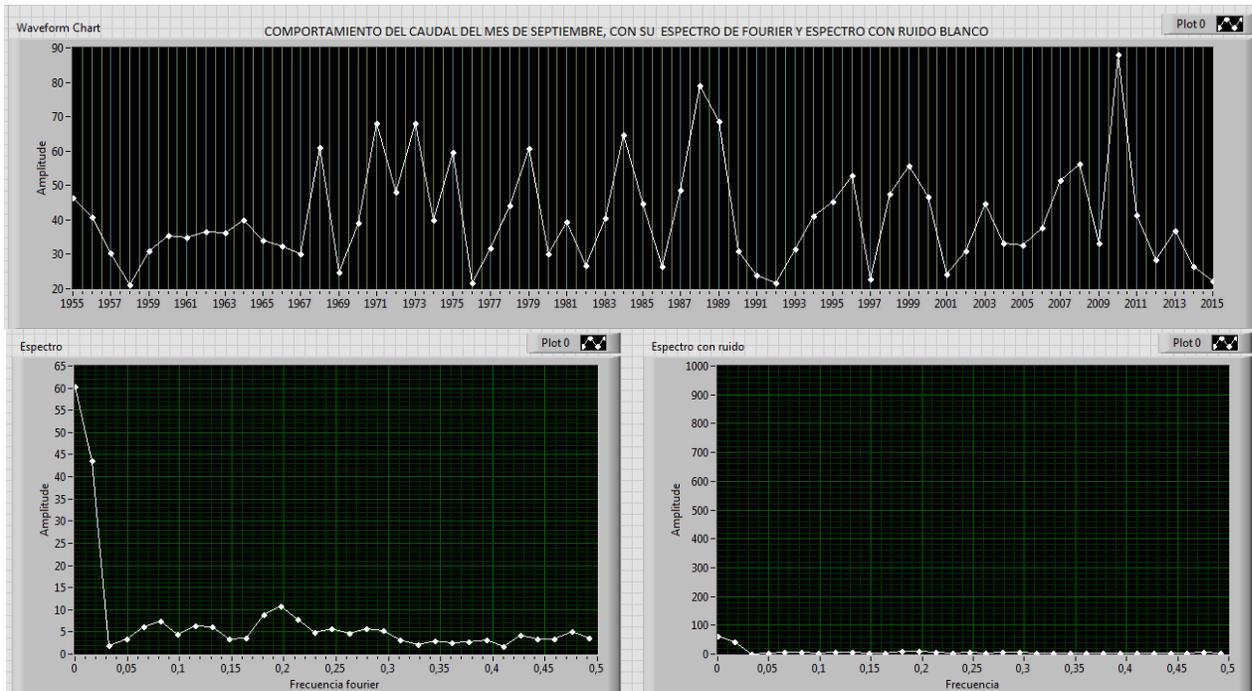
Grafica N. 12 Caudal del mes de Junio con su espectro y espectro con ruido blanco.



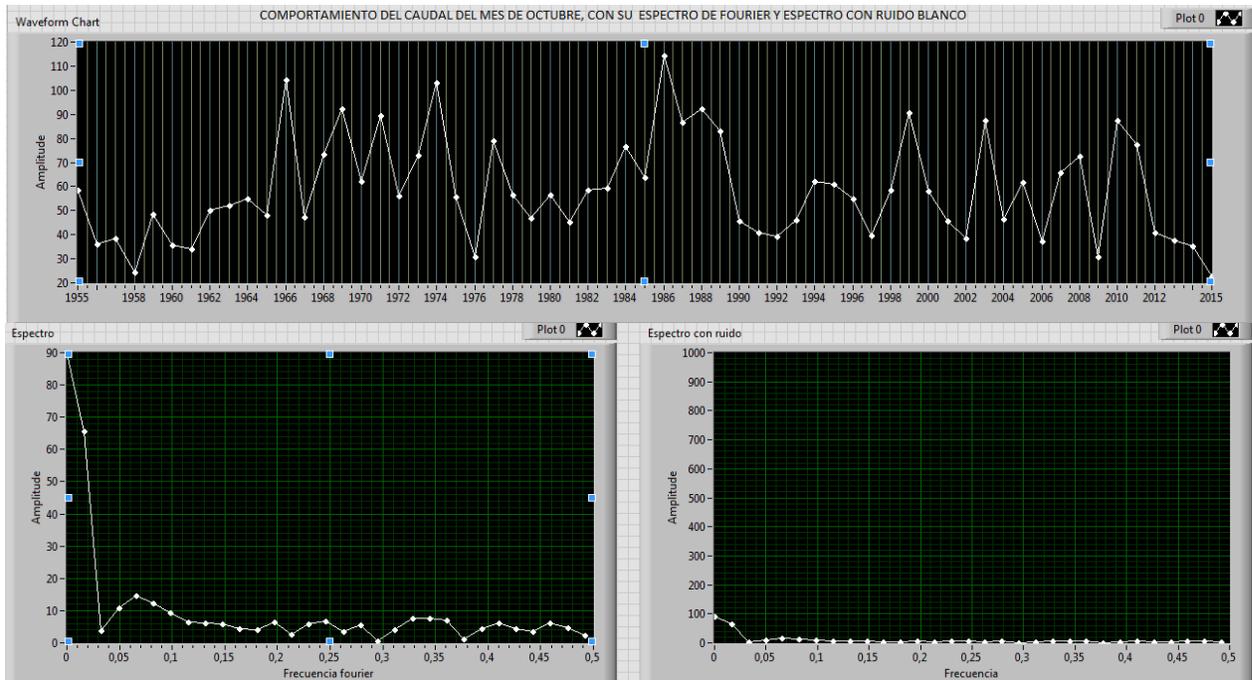
Grafica N. 13 Caudal del mes de Julio con su espectro y espectro con ruido blanco.



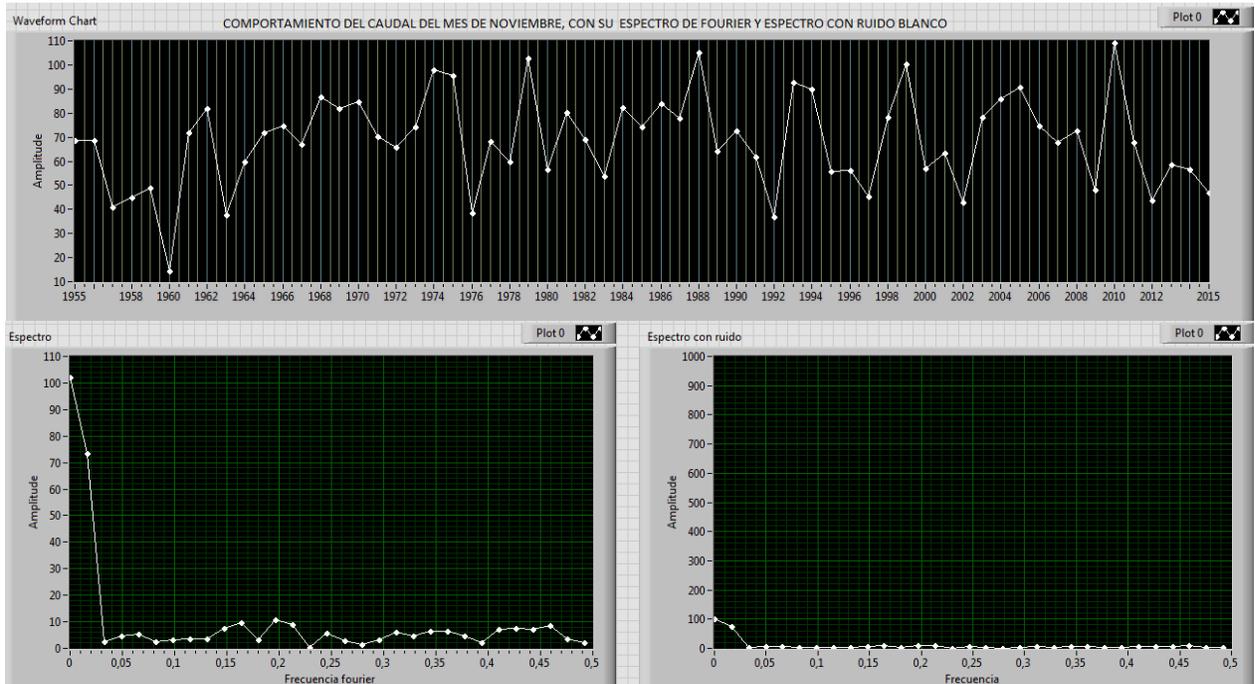
Grafica N. 14 Caudal del mes de Agosto con su espectro y espectro con ruido blanco.



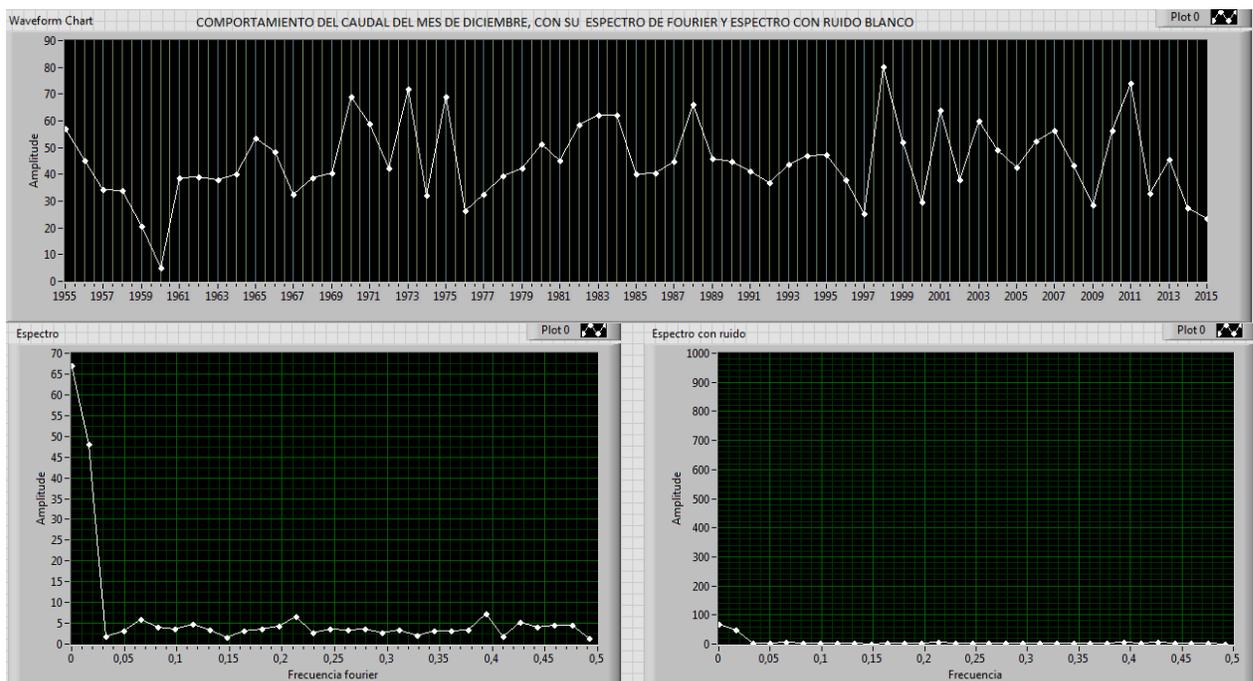
Grafica N. 15 Caudal del mes de Septiembre con su espectro y espectro con ruido blanco.



Grafica N. 16 Caudal del mes de Octubre con su espectro y espectro con ruido blanco.



Grafica N. 17 Caudal del mes de Noviembre con su espectro y espectro con ruido blanco.



Grafica N. 18 Caudal del mes de Diciembre con su espectro y espectro con ruido blanco.

6.3) Análisis del desarrollo del proyecto:

Los resultados de la media móvil, expresan que el comportamiento de ciertos meses durante las décadas de 1955 hasta 2015, han tenido un comportamiento estacional comparados con otros meses, en los años desde 1968 a 1980, evidenciando que en estos lapsos de tiempo, hubo fluctuaciones grandes de crecientes y de reducción del caudal, por lo anterior en el resto de los años de estos meses, sigue una tendencia cíclica del aumento del caudal, y otros como en el caso de febrero que tiende a estabilizarse, lo cual la tendencia anterior se visualiza más en los últimos años. Los principales meses que se ven inmersos en la componente estacional de este lapso de tiempo son: Enero, Febrero, Mayo y Diciembre, sin embargo el más importante de resaltar es el del mes de marzo el cual evidencia que cada 25 años el caudal aumenta al mismo nivel, donde no cabe duda que su comportamiento, se verá manifestó en cada lapso de dicho tiempo, similar a la tendencia de junio donde su trabajo desde el año 1963 hasta 1975, se repite nuevamente en 1975 hasta 1985. Respecto a los otros meses encontramos que su tendencia a largo plazo es totalmente cíclica, pero cabe resaltar que esta tendencia cíclica, para algunos aumentan a través del tiempo y para otros disminuye su caudal de forma suave, donde para el primer grupo de meses encontramos a: Noviembre, Agosto, Abril, y el único mes que tiende a disminuir de forma cíclica es Julio. Por ultimo tenemos a los meses de septiembre y octubre donde juntos viven en comportamiento similar de aumento en ese lapso de tiempo, de forma estacional en los años de 1980 hasta 1990.

Con base a los resultados obtenidos del software labview, el espectro obtenido por cada uno de los meses, implementando la transformada de Fourier, nos muestra cambios muy mínimos en su comportamiento de unos con respecto a otros, los únicos que se vieron distintos uno de otros y que son importantes de resaltar fueron los espectros de marzo y abril, los cuales el comportamiento de sus espectros fluctúan de forma drástica, en comparación con los demás espectros, siendo así que se evidencia que el cambio de su comportamiento al ser estacional, nos induce a que varía su densidad espectral de potencia, lo contrario a los meses por ejemplo de Diciembre y Noviembre, donde su espectro tiende hacer llano, lo cual se evidencia en su comportamiento normal que tiende a llevar un comportamiento más cíclico, quiere decir que en este mes, se lleva a una cantidad de energía constante, donde no varía, ni cambia de forma drástica .

Por ultimo al verificar el resultado del comportamiento de la adicción del ruido blanco con el espectro obtenido por la serie de Fourier, su tendencia no fue acorde a lo teórico, es decir gráficamente no se representó de forma constante el espectro con Ruido, siendo así que tras de un análisis minucioso, se logró estabilizar por medio de la alteración de la amplitud y la frecuencia, alargando la tendencia del espectro con Ruido, para obtener su Energía total constante.

7. CONCLUSIONES:

- El análisis de las cuatro componentes de las series de tiempo, implementadas en el estudio del comportamiento de los caudales mínimos mensuales, logra que se prevé y se visualice el comportamiento de la misma hacia un futuro, ya que pueden presentarse catástrofes o inconvenientes con base a la corriente Fonce, Tanto del incremento del caudal como la reducción de la misma, afecta directa o indirectamente a los pobladores, es por eso que allí es donde se interviene para dar una solución y también para prevenir los diferentes contestos que vivan las personas residentes de San Gil.
- El estudio de una variable aleatoria se puede relacionar con el comportamiento de una señal, siendo así que tanto el comportamiento de la variable y la señal, contienen cierta cantidad de energía para que produzca o realice un trabajo, gracias al estudio, del comportamiento de las ondas de una señal, podríamos determinar la cantidad de energía que pueda tener una variable aleatoria, relacionándola con la parte cuantitativa con lo cualitativo, donde en su parte cuantitativa analizaremos el espectro o densidad espectral de la señal, que va relacionada con su amplitud el cual se mide en voltios y su frecuencia que se mide en (Hz), mirando al final su relación de que tanta energía pueda tener, para así mismo aprovecharla y usarla para beneficio de la comunidad de San Gil.
- Gracias a los avances tecnológicos se puede resaltar que el software labview, es una gran herramienta para visualizar el comportamiento de una señal, pero es de vital importancia relacionar el comportamiento de una acción real con el comportamiento de las señales, para que al final, se pueda interpretar de la mejor manera la información.
- La obtención de la energía de una variable aleatoria, se podría optimizar y manipular directamente con la reducción de su espectro interno, cuando es sometido a una acción de ruido blanco, ya que el ruido blanco hace que sea constante su potencia, es allí cuando se interviene, para aprovechar la potencia total que tiene cada variable aleatoria.
- Para lograr obtener la información de una señal es de vital importancia crear un artefacto radiotécnico receptor de señales, que logre modificar o alterar la señal, por medio de la disminución o aumento de la amplitud y frecuencia, lo cual si logra esta acción bajo el espectro de un ruido blanco, podríamos tener la información real de la señal, en este caso del comportamiento de los caudales mínimos mensuales del rio Fonce.

8. BIBLIOGRAFIA

- WIKIPEDIA. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico
- DANE. (2005). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*. Obtenido de BOLETIN GENERAL SENCO 2005: http://www.dane.gov.co/files/censo2005/perfiles/santander/san_gil.pdf
- GONOROVSKI, I. (1972). *SEÑALES Y CIRCUITOS RADIOTECNICOS*. URRSS: MIR.
- HAKIM, M. (2013). *FINANZAS vestidas por unos y alboratados por otros*. EDAF.
- IDEAM. (s.f.). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/tramites-servicios>
- JHON E. HANKE, D. W. (2010). *PRONOSTICO EN LOS NEGOCIOS*. MEXICO: PEARSON.
- martinez, F. v. (2008). *RIESGOS FINANCIEROS Y ECONOMICOS*. CENGAGE LEARNING.
- MENDENHALL/REINMEVTH. (s.f.). *ESTADISTICA PARA ADMINISTRACION Y ECONOMIA*. IBEROAMERICANO.
- MONTENEGRO, A. (2005). *SERIES DE TIEMPO*.
- PAREJA, J. (15 de 10 de 2011). *CIENCIA DE LA ECONOMIA*. Obtenido de <http://cienciaeconomica.blogspot.com.co/2011/10/analisis-de-series-de-tiempo-un-poco-de.html>
- PENROSE, R. (s.f.). *UN AÑO MILAGROSO, EINSTEIN 1905*. John stachel.
- RAMIREZ, F. O. (2007). *INTRODUCCION A LAS SERIES DE TIEMPO metodos parametricos*. MEDELLIN: sello.