

# **Práctica Académica Especial**

Análisis de datos

Cuenca Sinú-San Jacinto

Estudiante

Moisés Carvajal Angraita

Profesor

Gaspar Monsalve Mejía

Universidad Nacional de Colombia

Sede Medellín

Marzo 2025

# Contenido

1.	Registros utilizados .....	3
2.	Visualización de la información .....	4
2.1.	Series originales.....	4
2.2.	Transformadas de Fourier Normalizadas.....	5
2.2.1.	Por número de onda.....	5
2.2.2.	Por longitud de onda.....	6
2.3.	Correlación cruzada.....	7
2.3.1.	Series Originales.....	7
2.3.2.	Transformadas de Fourier.....	8
2.4.	Coefficiente de correlación de Pearson.....	9
3.	Discusión .....	9
3.1.	Series originales.....	9
3.2.	Transformada de Fourier Normalizada.....	10
3.2.1.	Por número de onda.....	10
3.2.2.	Por longitud de onda.....	10
3.3.	Correlación cruzada.....	11
3.3.1.	Series originales.....	11
3.3.1.1.	Transformadas de Fourier.....	12
3.4.	Coefficiente de correlación de Pearson.....	12

La información utilizada en este documento fue obtenida de manera gratuita y corresponde a registros de pozos de la cuenca Sinú – San Jacinto realizados por la empresa Lewis Energy Colombia para Hocol Petroleum Limited, la cual hace parte del Grupo Ecopetrol. En particular, se utilizó la información del pozo denominado como “Curramba EST-1”.

## 1. Registros utilizados

El archivo contiene múltiples registros de pozo, correspondientes a un intervalo de profundidades entre 1000.04 ft y 3104.45 ft, con una separación espacial de 0.083 ft entre cada medición. Las mediciones utilizadas en el análisis incluyen: Array Induction One Foot Resistivity A10 (AO10), Calibrated Downhole Force (CDF), Gamma Ray (GR), HRCC Caliper Calibrated (HCAL), High Resolution Formation Density (RHO8) y Spontaneous Potential (SP). A continuación, se describen cada una de estas mediciones.

**AO10 - Array Induction One Foot Resistivity A10:** esta medida corresponde a la resistividad eléctrica de la formación rocosa, del mismo modo, las unidades registradas son los Ohmios (Ohmm). La medición A10 se enfoca en una resolución vertical de 1 ft, lo que permite detectar capas delgadas y cambios abruptos en las propiedades de la formación.

**CDF – Calibrated Downhole Force:** esta medición proporciona información sobre la fuerza ejercida por las herramientas utilizadas en el fondo del pozo, registrada en libras-fuerza (lbf). Su monitoreo es esencial para optimizar el peso sobre la barrena, detectar restricciones mecánicas y mejorar la eficiencia de las operaciones de perforación.

**GR – Gamma Ray:** esta medida corresponde a la radiación gamma natural emitida por la formación rocosa. Del mismo modo, las unidades registradas son **GAPI (Gamma Ray API units)**, una escala estándar utilizada en la industria petrolera para cuantificar la radiación gamma de las formaciones.

**HCAL – HRCC Caliper Calibrated:** esta medida corresponde al diámetro del pozo, registrado mediante un calibrador de pozo de tipo HRCC (High-Resolution Caliper Curve), calibrado para asegurar mediciones precisas. Las unidades registradas son **pulgadas (in)**. El registro HCAL es esencial para identificar variaciones en el diámetro del pozo, que pueden ser causadas por irregularidades en la perforación,

**RHO3 – High Resolution Formation Density:** esta medida corresponde a la densidad de la formación rocosa. Las unidades registradas son **gramos por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>)**. Esta medición también es esencial para estimar la porosidad y evaluar la integridad del reservorio, proporcionando datos clave en estudios de ingeniería de reservorios y petrofísica.

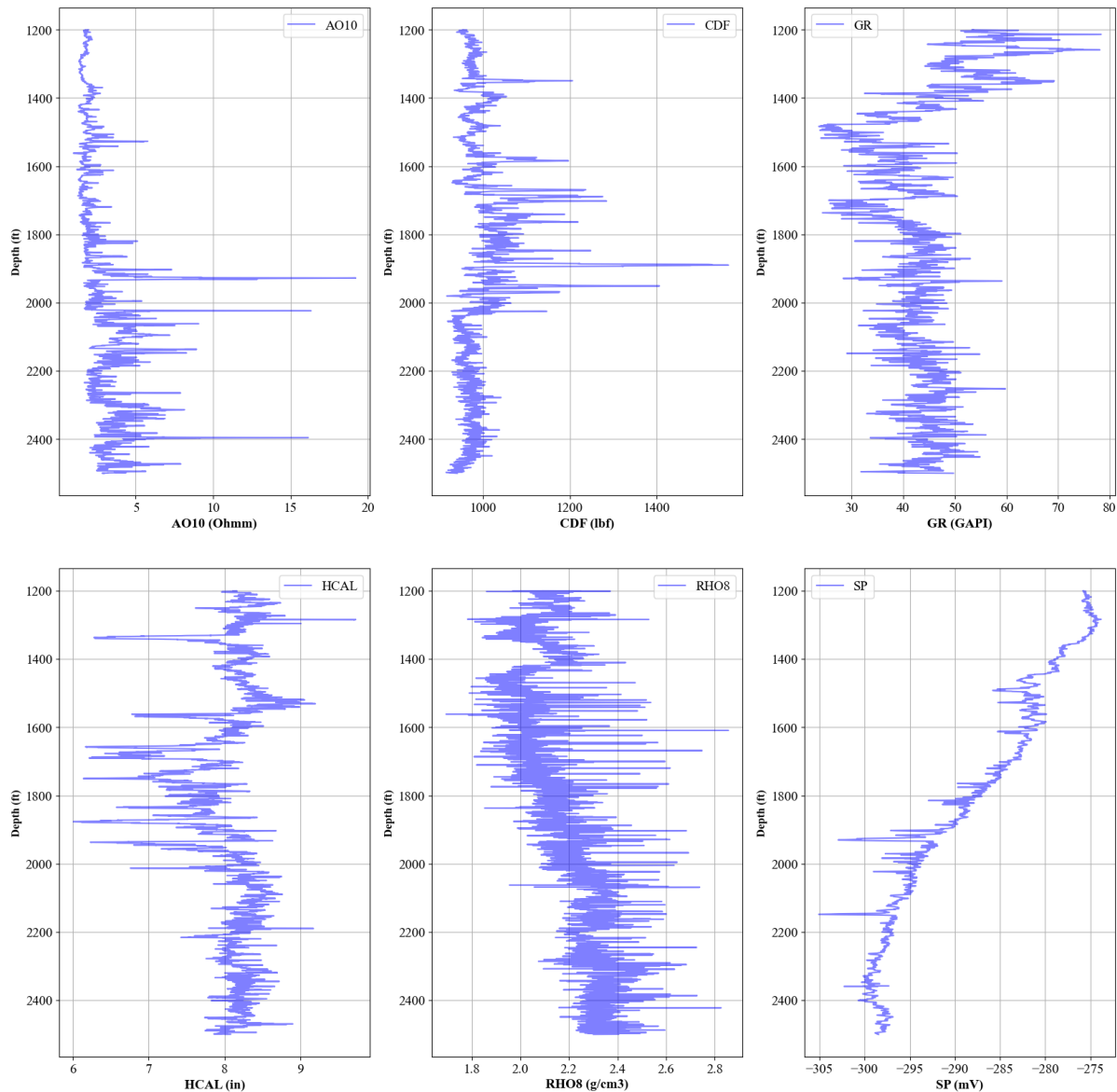
**SP – Spontaneous Potential:** es una medición de la diferencia de potencial eléctrico natural entre la formación rocosa y el fluido de perforación en el pozo. Este potencial se genera debido a las diferencias en la concentración de iones entre los fluidos de la formación y los fluidos de perforación. Las unidades registradas son **milivoltios (mV)**. El SP es valioso para

la localización de fronteras de agua y petróleo en el pozo, y para la evaluación de la invasión de fluidos durante la perforación.

## 2. Visualización de la información

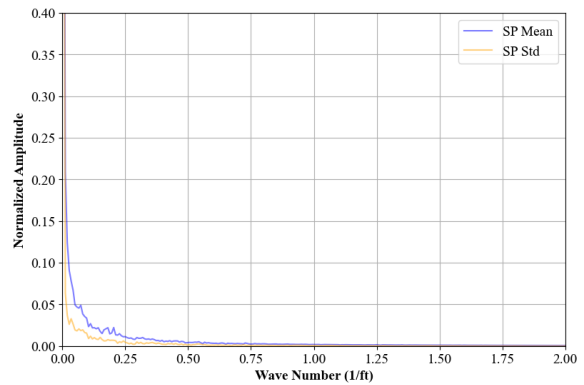
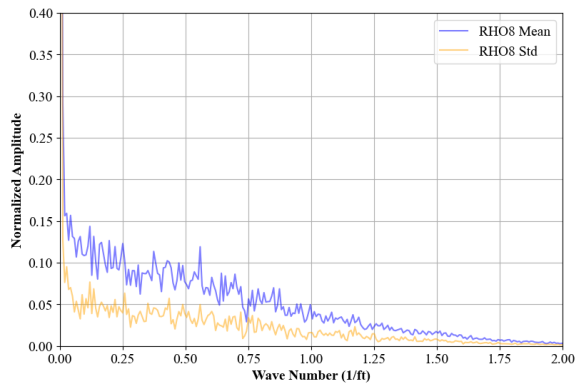
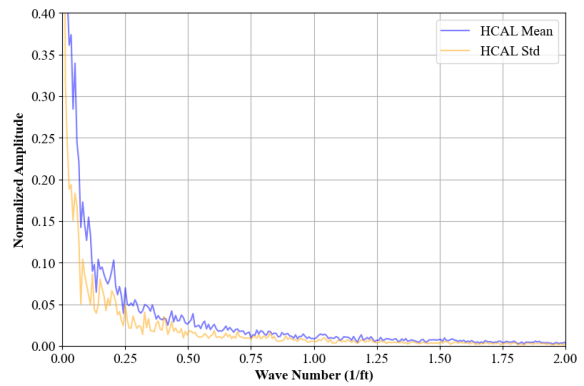
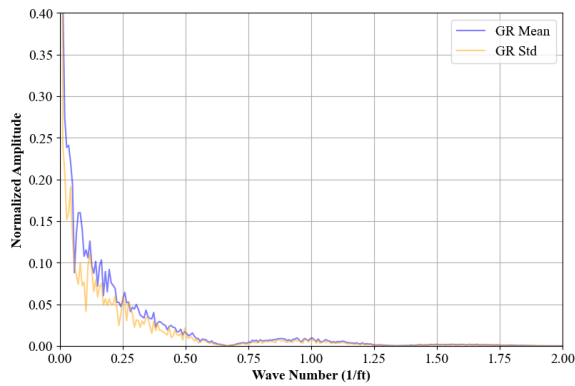
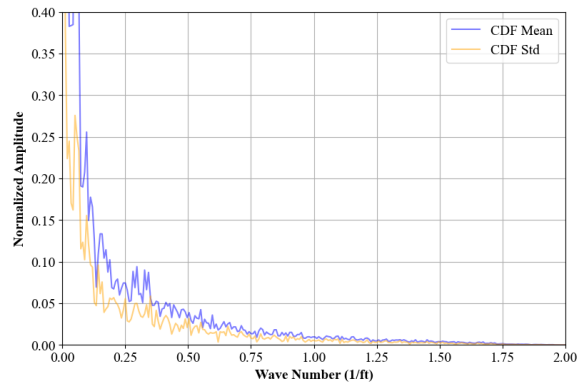
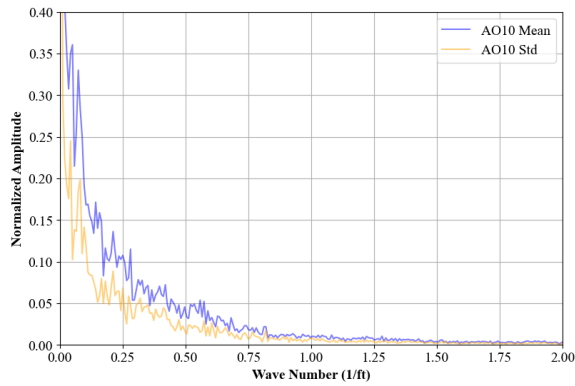
Para lograr una visualización adecuada de los datos, se utilizó Python, pues permitía la verificación de la información de manera gratuita. Previamente se realizó un análisis general de los datos, con el fin de establecer los filtros adecuados, en donde se logró establecer un rango de profundidad entre los 1200 y 2500 ft.

### 2.1. Series originales

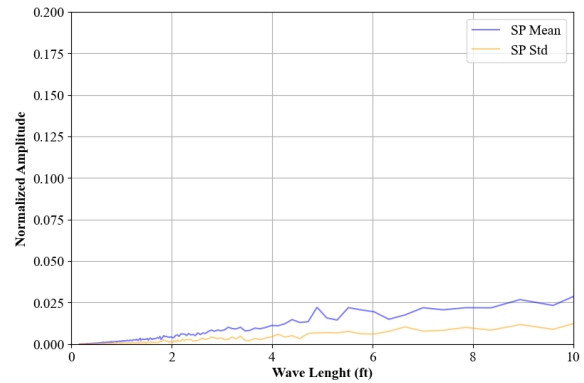
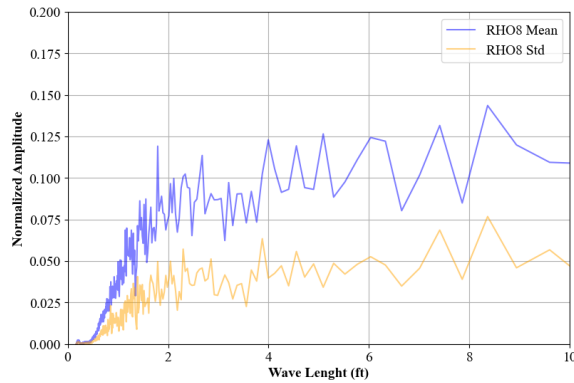
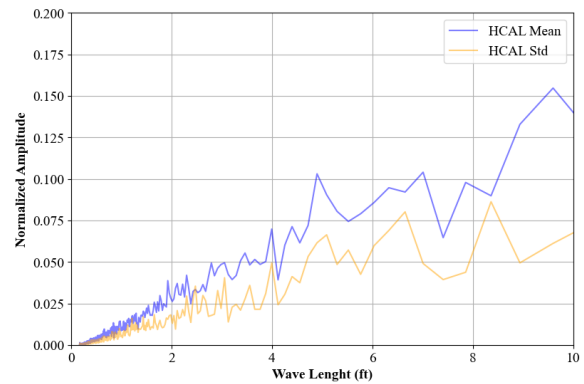
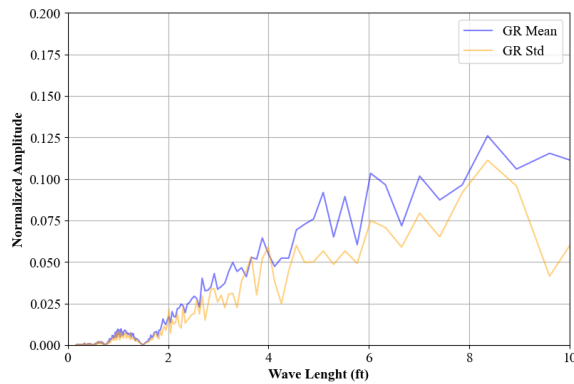
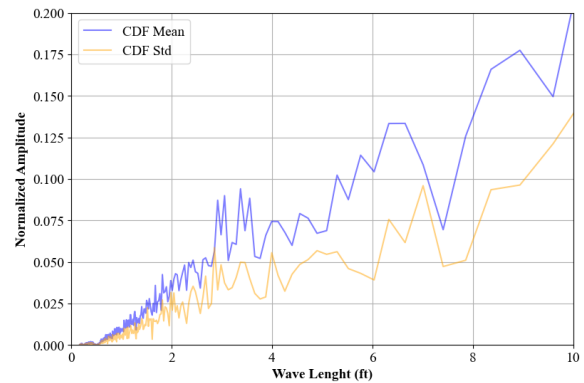
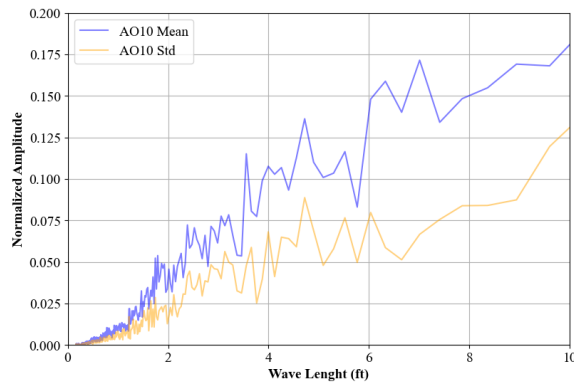


## 2.2. Transformadas de Fourier Normalizadas

### 2.2.1. Por número de onda

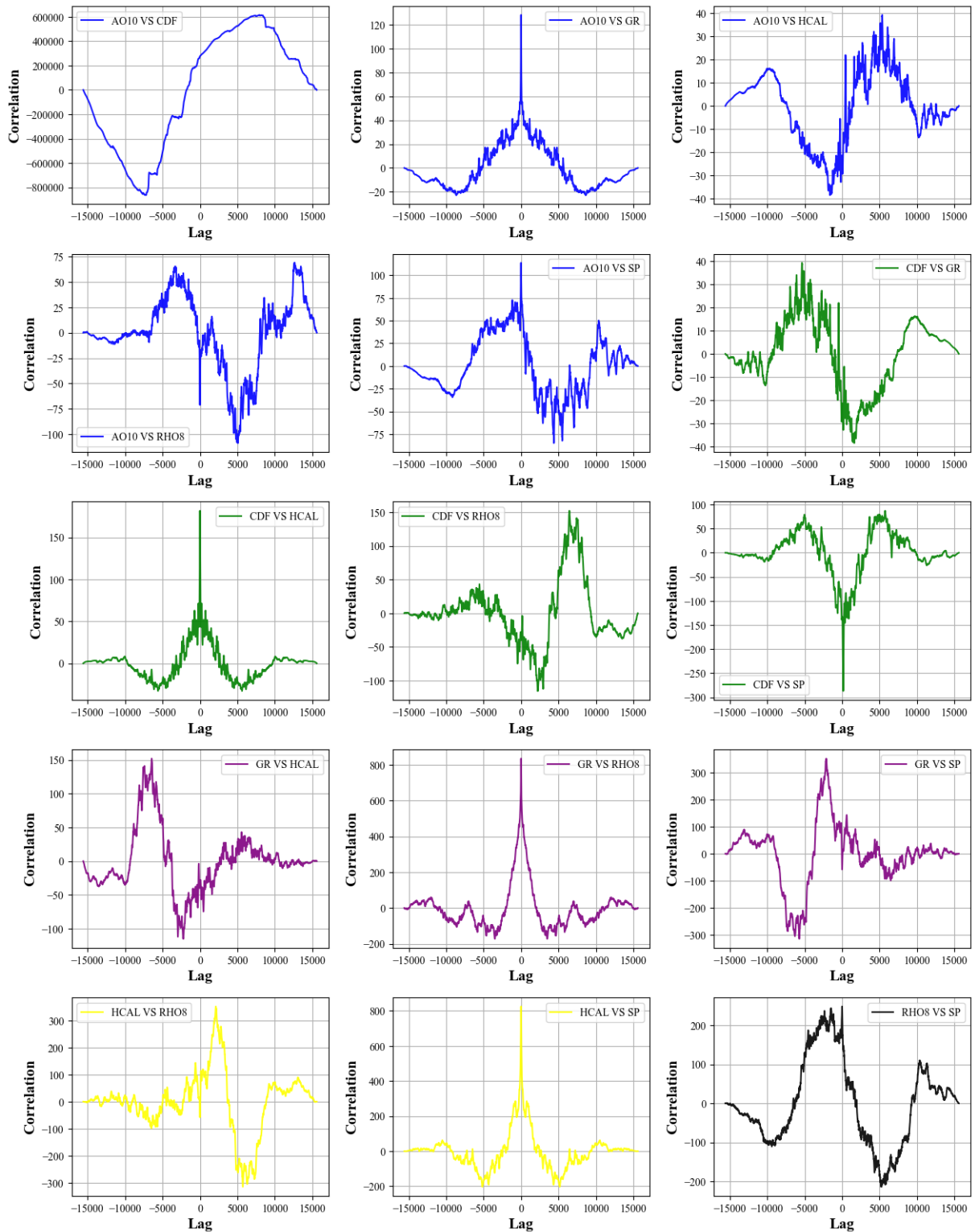


## 2.2.2. Por longitud de onda

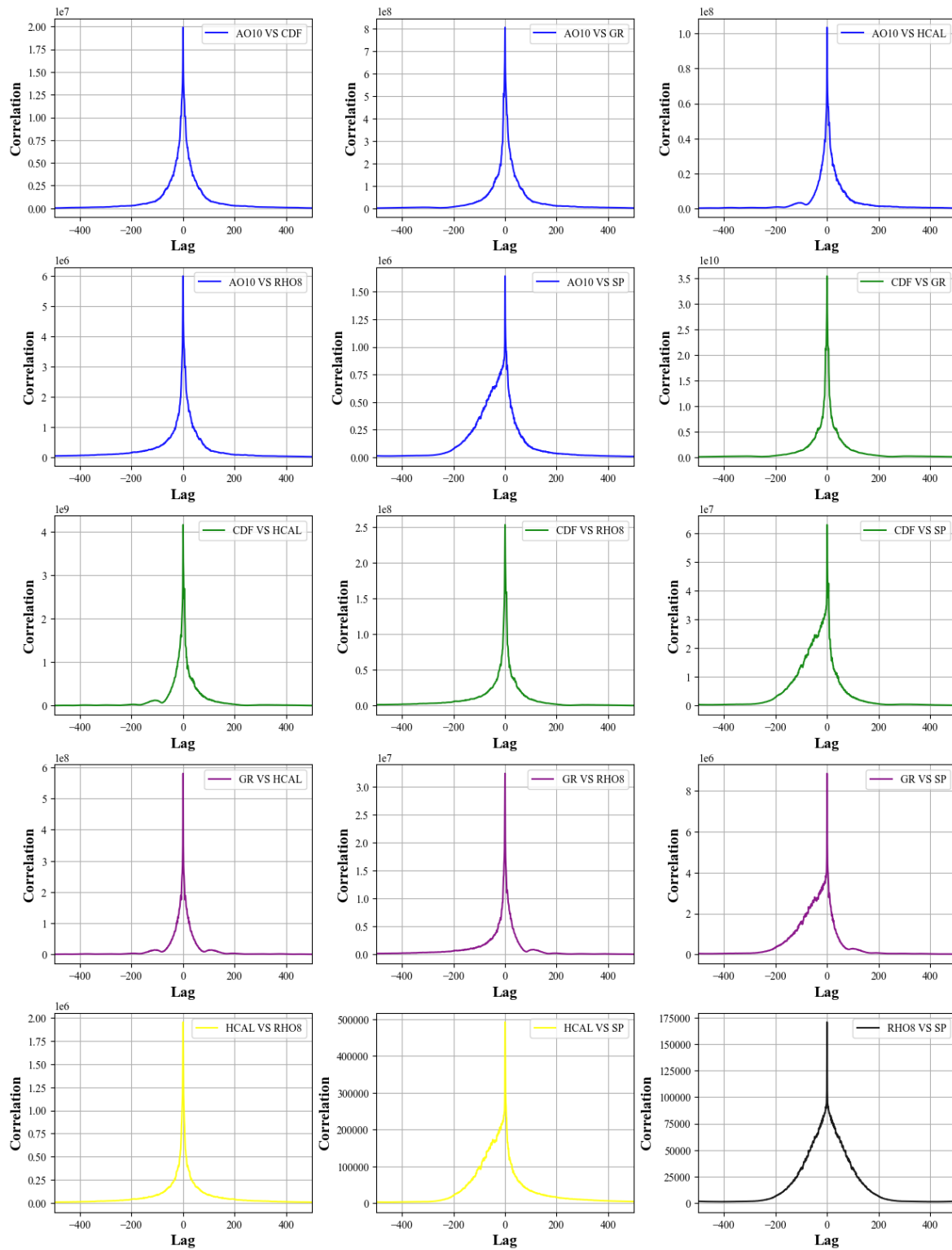


## 2.3. Correlación cruzada

### 2.3.1. Series Originales



### 2.3.2. Transformadas de Fourier





## 2.4. Coeficiente de correlación de Pearson

	AO10	CDF	GR	HCAL	RHO3	SP
AO10	1.00	-0.16	-0.21	0.35	0.63	-0.60
CDF	-0.16	1.00	-0.08	-0.35	-0.17	0.11
GR	-0.21	-0.08	1.00	-0.07	0.02	0.19
HCAL	0.35	-0.35	-0.07	1.00	0.29	-0.13
RHO3	0.63	-0.17	0.02	0.29	1.00	-0.71
SP	-0.60	0.11	0.19	-0.13	-0.71	1.00

## 3. Discusión

### 3.1. Series originales

En la gráfica de la propiedad AO10, se observa que los valores son relativamente iguales en la zona más superficial, alrededor de 2 Ohmm, lo que refleja una gráfica más tenue. A medida que la profundidad aumenta, la señal gana amplitud, mostrando mayores variaciones. Se identifican cambios bruscos en las profundidades de 1950, 2050 y 2400 ft, donde los valores alcanzan picos máximos de hasta 18 Ohmm. Finalmente, en la zona más profunda, los valores tienden a estabilizarse en aproximadamente 3 Ohmm.

En la gráfica de la propiedad CDF, se observa una tendencia media en torno a los 700 lbf. Sin embargo, presenta un incremento en el nivel de ruido y varios cambios bruscos, alcanzando valores cercanos a 1600 lbf en los 1900 ft. La mayor variabilidad se encuentra en el rango de 1500 a 2000 ft, mientras que, en profundidades mayores, la gráfica se torna más homogénea.

La gráfica de la propiedad GR presenta una variabilidad significativa con cambios de tendencia relativamente bruscos. Inicialmente, los valores de GR se sitúan alrededor de 55 GAPI, pero muestran una disminución progresiva hasta alcanzar aproximadamente 25 GAPI a una profundidad de 1500 ft, seguido de un cambio similar alrededor de 1700 ft. Posteriormente, la gráfica se vuelve más homogénea, aunque mantiene cierta variabilidad, con valores medios en torno a 45 GAPI.

Los valores de la propiedad HCAL en la gráfica muestran una tendencia cercana a 8.2 in a lo largo del intervalo de profundidad analizado. Sin embargo, se observan cambios bruscos en los rangos de aproximadamente 1350 ft y 2100 ft, donde los valores disminuyen hasta 6 in.

La propiedad RHO8 presenta una gráfica con un alto nivel de ruido, mostrando una tendencia creciente en función del aumento de la profundidad. Al inicio, los valores rondan los 2.1 g/cm<sup>3</sup> y alcanzan aproximadamente 2.3 g/cm<sup>3</sup> al final. Se observan cambios de tendencia en los valores alrededor de 1250, 1400, 1650, 2100 y 2200 ft. Además, se identifican picos máximos de hasta 2.8 g/cm<sup>3</sup>.

La gráfica de SP presenta una forma fina, lo que refleja la homogeneidad de los datos en ciertos tramos del pozo. En general, se observa una disminución de los valores con la profundidad, comenzando en -275 mV y alcanzando -297 mV. Además, se identifican picos anómalos en 1950, 2160 y 2350 ft, donde los valores descienden hasta -305 mV.

En general, se pueden identificar algunas posibles correlaciones entre las propiedades. Por ejemplo, en los 1350 ft, se observa un cambio notable en HCAL y RHO8, con una variación negativa en la primera y positiva en la segunda. Este mismo cambio también se refleja en GR, con una tendencia positiva. Por otro lado, se aprecia una relación más leve entre GR y SP en las profundidades de 1950 ft y 2160 ft.

## **3.2. Transformada de Fourier Normalizada**

### **3.2.1. Por número de onda**

En general, las gráficas de AO10, CDF, GR y HCAL presentan patrones similares en su forma, caracterizados por valores elevados de amplitud normalizada para números de onda cercanos a 0, seguidos de una disminución abrupta y una estabilización en torno a 0.75 (1/ft). Este comportamiento sugiere una mayor contribución de componentes de baja frecuencia en su variabilidad.

Por otro lado, las gráficas de RHO8 y SP exhiben un comportamiento distinto. RHO8 muestra una disminución más gradual de la amplitud, con una tendencia casi lineal, aunque con alta variabilidad. En contraste, SP comparte cierta similitud con las primeras cuatro propiedades, pero con una caída mucho más pronunciada, alcanzando su estabilización alrededor de 0.50 (1/ft).

### **3.2.2. Por longitud de onda**

Las gráficas de AO10, CDF, GR y HCAL presentan un comportamiento similar, caracterizado por un aumento progresivo en la amplitud normalizada para valores bajos del número de onda, seguido de fluctuaciones. Sin embargo, cada una de ellas exhibe picos distintos que permiten comprender la escala o el alcance de cada propiedad.

Para AO10, se destacan los picos en 1.9, 3.8, 4.7 y 7 ft. En el caso de CDF, se aprecian picos en 3, 3.5 y 6.5 ft, además de un pico negativo en 7.5 ft. Para GR, los picos más notorios ocurren en 3.9, 5, 6 y 8.5 ft. Finalmente, en HCAL se identifican picos en 3, 4, 4.5 y 6.8 ft.

Por otro lado, la gráfica de RHO8 presenta un patrón distinto, con una disminución más gradual de la amplitud y alta variabilidad. Sus picos más destacados se encuentran en 1.8, 2.6, 4, 5, 6 y 7.5 ft.

Finalmente, la gráfica de SP exhibe un comportamiento más estable y plano, con un incremento progresivo. Aunque sus picos son menos pronunciados, se pueden observar en 5, 5.5, 7 y 9 ft.

De esta manera, se puede establecer que las propiedades CDF, GR, HCAL y SP tienen un alcance relativamente medio para distinguir características relevantes en los registros, con picos mayormente ubicados por encima de los 3 ft. Esto sugiere que estas variables capturan tendencias más generales dentro de los datos. Sin embargo, AO10 y RHO8 presentan un mayor nivel de detalle, con picos detectables desde los 1.8 ft, lo que indica una mayor sensibilidad a variaciones más sutiles en la señal. Este nivel de resolución podría ser clave en la identificación de estructuras finas o cambios locales en las propiedades analizadas.

### **3.3. Correlación cruzada**

#### **3.3.1. Series originales**

Las gráficas analizadas presentan variaciones en sus formas, pero es posible agruparlas en cinco categorías principales según sus similitudes. En primer lugar, hay dos gráficas que no muestran similitud con ninguna otra: AO10 VS CDF y CDF VS SP. En particular, la gráfica AO10 VS CDF presenta una forma sinusoidal imperfecta, con un máximo en 7500 y un mínimo en -7500. Por otro lado, la gráfica CDF VS SP muestra una estructura en forma de “V” centrada, lo que indica una fuerte anticorrelación en rezago 0, mientras que se observa una relación más significativa en -5000 y 5000.

Por otro lado, se identifican cuatro patrones característicos entre las demás gráficas. El primer grupo está conformado por AO10 VS GR, CDF VS HCAL, GR VS RHO8 y HCAL VS SP, que presentan comportamientos similares con máximas correlaciones en 0 rezago y picos mínimos entre  $\pm 2500$  y  $\pm 5000$ .

El segundo grupo incluye las gráficas AO10 VS HCAL y CDF VS RHO8, las cuales presentan múltiples máximas correlaciones. En particular, AO10 VS HCAL alcanza sus valores máximos en -10000 y 5000, mientras que exhibe una anticorrelación notable en -2500. Por su parte, CDF VS RHO8 presenta sus picos máximos en -5000 y 7000, con un mínimo en 2500.

El tercer grupo incluye las gráficas AO10 VS RHO8, HCAL VS RHO8 y RHO8 VS SP, las cuales presentan distintos patrones de correlación. En la gráfica AO10 VS RHO8, se observan máximos en -3,000 y 12,500, mientras que el único mínimo se encuentra en 5,000. Por su parte, HCAL VS RHO8 presenta un máximo en 2,500 y un mínimo en 6,000. Asimismo, RHO8 VS SP exhibe una variabilidad particular en su correlación, con máximo en -2000 y mínimo en 5000.

Finalmente, el cuarto grupo está compuesto por las gráficas AO10 VS SP, CDF VS GR y GR VS HCAL, cada una con patrones de correlación bien definidos. En la gráfica AO10 VS SP, se observa un máximo principal en 0 y otro menos relevante en 10,000, mientras que los mínimos se encuentran en 5,000 y en -10,000, siendo este último de menor impacto. Por su parte, la gráfica CDF VS GR presenta un máximo en -5,000 y otro menos relevante en 10,000, mientras que sus mínimos se ubican en 2,000 y -10,000, con este último de menor

importancia. Finalmente, la gráfica GR VS HCAL muestra su máximo en -7,500 y su mínimo en -2,500.

De esta manera, es posible identificar múltiples tipos de correlaciones, como se observa en la división de los grupos establecidos. No todas las correlaciones ocurren en rezago 0, aunque este es el caso más frecuente, lo que sugiere una relación directa entre las variables en esos conjuntos de datos.

Por otro lado, los grupos dos y tres presentan correlaciones máximas en distintos rezagos, lo que podría indicar una interacción más compleja debido a efectos retardados. Este comportamiento sugiere una posible ciclicidad en las propiedades analizadas. Sin embargo, en el grupo tres, aunque las gráficas no son homogéneas en su forma, presentan similitudes generales. Esto sugiere que las relaciones entre estas propiedades son más dinámicas y menos predecibles, posiblemente influenciadas por factores adicionales aún no considerados.

De esta manera, la presencia de correlaciones en rezagos distintos de 0 sugiere que algunas propiedades tienen un comportamiento desfasado, lo que podría utilizarse para generar predicciones sobre sus relaciones a lo largo del tiempo. Este desfase indica que ciertas variables no responden de forma instantánea a los cambios en otras, sino que siguen patrones retardados o cíclicos. Comprender estos patrones permitiría optimizar modelos de predicción, mejorar la interpretación de datos experimentales y ajustar estrategias en procesos donde estas correlaciones sean relevantes.

### **3.3.1. Transformadas de Fourier**

En general, en las correlaciones cruzadas de las transformadas de Fourier se puede apreciar una alta afinidad de todas las gráficas para un rezago de 0, lo que indica que los espectros se corresponden muy bien entre sí. De esta forma, se puede establecer que las longitudes de onda fundamentales que detectan las propiedades de los materiales lo hacen para las mismas distancias características.

Por otro lado, es importante notar que la gran mayoría de las gráficas muestran una simetría característica; sin embargo, aquellas en las que se compara el potencial espontáneo (SP) presentan una asimetría, generando un desbalance hacia la zona con rezago negativo. Este comportamiento sugiere que la relación entre las señales no es completamente recíproca en términos de correlación temporal, lo que indica que las variaciones en SP podrían estar ocurriendo antes o después de los cambios en los otros parámetros analizados.

Dada la relevancia de esta observación, sería interesante profundizar en un análisis más detallado para determinar si esta diferencia en la correlación temporal responde a efectos de filtrado, a condiciones de adquisición de datos o a un fenómeno geológico intrínseco.

### **3.4. Coeficiente de correlación de Pearson**

La matriz de correlación de Pearson obtenida permite analizar las relaciones entre distintas variables medidas en un contexto geológico. Se identifican correlaciones significativas que pueden proporcionar información sobre la naturaleza de los materiales evaluados.

Uno de los hallazgos más destacados es la fuerte correlación negativa entre el RHO3 y el SP, con un valor de -0.71. Esto sugiere que las formaciones más densas tienden a tener menor SP, lo cual es consistente con la reducción de porosidad y la menor presencia de agua libre en rocas más compactas.

Asimismo, se observa una correlación positiva moderada entre AO10 y RHO3, con un valor de 0.63, lo que sugiere que la resistividad está influenciada por la compactación o el contenido mineral denso de la formación. Por otro lado, AO10 presenta una correlación negativa con SP, con un valor de -0.60, lo que refuerza la idea de que la resistividad está relacionada con la densidad y la posible litología de las rocas.

La correlación entre HCAL y RHO3, con un valor de 0.29, puede sugerir que existen ligeras variaciones en la densidad de la roca asociadas con cambios en el diámetro del pozo. Esto podría estar relacionado con diferencias en la competencia mecánica de las formaciones, generando variaciones en la apertura del pozo. Por otro lado, la correlación negativa de -0.35, entre HCAL y CDF indica que a medida que el diámetro del pozo aumenta, la fuerza ejercida por las herramientas en el fondo del pozo tiende a disminuir. Esto podría explicarse por la pérdida de contacto entre las herramientas y la formación debido al ensanchamiento del pozo, lo que genera una menor transmisión de fuerza. Este fenómeno suele estar asociado a zonas de mayor inestabilidad, presencia de materiales menos consolidados o formación de cavidades.

En cuanto al GR, se observa una correlación débil con la mayoría de las variables, lo que podría indicar que el contenido de arcillas no es un factor dominante en la variabilidad de los otros parámetros medidos.

En conclusión, el análisis de la matriz de correlación sugiere que la densidad aparente (RHO3) y el potencial espontáneo (SP) presentan la relación más fuerte, lo que indica que las variaciones en densidad podrían estar relacionadas con cambios en la permeabilidad y la saturación de fluidos en la formación. Además, las correlaciones entre AO10, RHO3 y HCAL sugieren que estos parámetros pueden estar influenciados por factores litológicos y de compactación.