

Vida útil de un trépano de tricono

Autores: Alveira Tejerina, Lautaro. Contreras, David Eduardo. García Rojo, Martín Alejandro. Velazco Portela, Maximiliano.

Institución: Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Salta - Salta, Argentina.

Datos de contacto: email: lautaroalveira@gmail.com- cel.: 3874454827.

RESUMEN

En el siguiente trabajo se realizó un estudio estadístico sobre un elemento de perforación de suelo llamado trépano de tricono. Este elemento se utiliza para perforaciones de pozos de agua, petróleo o gas.

El objetivo principal de este trabajo es poder predecir la vida útil de los elementos. Para esto se emplearon herramientas estadísticas, como la comparación de tratamientos y teoría de confiabilidad.

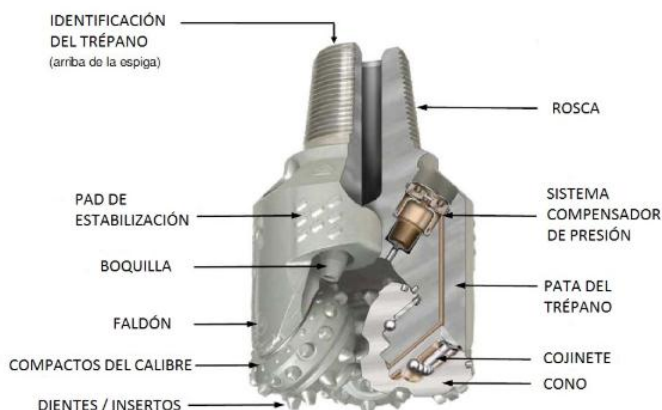
Mediante la comparación de tratamientos se pudo saber cuáles eran aquellos factores que tienen efecto sobre la durabilidad de los trépanos, comparando entonces, entre los productores que los fabrican y las máquinas que los operan.

Utilizando teoría de confiabilidad se obtuvo un tiempo de vida media de 101,45 hs. y 53,05 hs. Estos datos son de suma utilidad para prever en que momento deberá reemplazarse la pieza y así estar preparados para cuando esto ocurra.

INTRODUCCIÓN

Un trépano de tricono es un dispositivo que se ubica en el extremo de una columna de perforación, destinado para romper y moler las formaciones rocosas mientras se

perforar un pozo. Ya sea éste de agua, gas o petróleo.



Esta pieza está en constante fricción con superficies de suma dureza y porosidad, lo que requiere que esté fabricada de un material de extrema dureza. Uno de los materiales que lo compone, es el carburo de tungsteno, que es cuatro veces más resistente que el acero y es capaz de soportar elevadas temperaturas sin deformarse. Y los dientes, encargados de

moler la roca, están fabricados de diamante, material de mayor dureza existente en la tierra. El costo de estos materiales es muy elevado, por consecuencia, el valor de estas piezas mecánicas es muy alto.

Existen distintos tipos de suelos, con mayor o menor presencia de rocas y materiales abrasivos que pueden dañar ciertos elementos. Es por esto que es muy importante un análisis previo para seleccionar correctamente el tipo de tricono adecuado. Ya que, si

¹. Datos extraídos de: <https://cortequipos.com/pilotes-y-cimentaciones/trepano-de-perforacion/>
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/01/16/perforacion-rotativa-con-triconos/>
Especificación del funcionamiento del trepano en perforación- Sergio Ramiro Gonzales Aguilar

se elige incorrectamente el equipo, este no se desempeñará de la mejor manera acortando su vida útil o realizando su tarea en tiempos más prolongados, atrasando todo el proceso.¹

Las máquinas perforadoras que disponen de estos elementos, son máquinas de gran porte, que, para nuestro caso de estudio, pueden ser eléctricas o diésel. La empresa de la cual recolectamos los datos, cuenta con tres perforadoras marca Bucyrus-Caterpillar, dos eléctricas y un diésel. En ellas se opera con el mismo trépano hasta que éste descompone, donde el dispositivo es retirado de la máquina.

Los datos de los que se disponen, muestran la fecha en que se colocaron los distintos triconos y en qué máquina se lo colocó cada uno, la fecha en que falló, la cantidad de horas que trabajó, la cantidad de metros que perforó, el proveedor y el diámetro del mismo.



La maquinaria y los materiales con los que se operan tienen un muy alto costo, por lo que se deben reducir al máximo las incertidumbres que puedan comprometer el proceso, los dispositivos y los costos. Entonces, partir de estos datos y mediante las herramientas estadísticas adquiridas durante el cursado de la materia, se comprobará:

1. Si existe relación entre las horas trabajadas y los metros perforados.
2. Qué influencia tienen ciertas variables en la vida útil del dispositivo y poder sacar conclusiones para la optimización del proceso y que el tiempo que éste deba detenerse, sea el mínimo posible.
3. Predecir la vida útil de los elementos.

METODOLOGÍA

El objetivo de cualquier trabajo de investigación estadística, es poder sacar conclusiones que permitan la toma de decisiones para maximizar tiempos de producción. Los plazos de producción tienen un gran impacto en lo monetario, por lo que es de suma importancia tener presentes los momentos en que los equipos pueden fallar afectando dicho proceso, para así estar prevenidos ante cualquier inconveniente. Con el uso de distintas herramientas estadísticas se intentó buscar certezas acerca de los plazos y de los factores que inciden en las roturas o desperfectos.

1. Análisis descriptivos de los datos:

La empresa proporcionó a este equipo de trabajo una tabla de datos que contenía las horas de uso de los triconos, la cantidad metros perforados antes de romperse, la máquina que lo utilizó, el proveedor que lo fabricó y el rendimiento efectivo de los dispositivos:

(Tabla 1.1)

Fecha Montaje	Fecha Desmontaje	F/S	Tipo	Acero	Fabricante	Perforadora	Diámetro	Metros Perforados	Horas	Rend. Efect.
11-DIC-10 D	11-DIC-10 D	F	Tricono	USADO	WLS	PE02	11	174,48	1,74	100,24
16-MAY-10 N	17-MAY-10 N	F	Tricono	15450509	WLS	PE02	11	165,57	2,94	56,24
01-OCT-09 N	02-OCT-09 N	F	Tricono	29501207	WLS	PE02	9-7/8	258,65	5,02	51,48
15-OCT-09 N	16-OCT-09 D	F	Tricono	15800209	WLS	PE02	11	415,86	8,84	47,03

-----	02-JUL-09 N	F	Tricono	10060209	WLS	PE01	11	639,42	10,78	59,32
-------	-------------	---	---------	----------	-----	------	----	--------	-------	-------

2. Regresión:

El rendimiento efectivo de los triconos se lo obtiene mediante una relación entre los metros perforados sobre las horas trabajadas. Por eso se comprobó si existía una relación lineal entre estos dos parámetros. Para ello, se aplicó un análisis de **Regresión lineal**.

La regresión lineal se emplea en estadística para analizar la relación o dependencia que hay entre las variables estudiadas (en nuestro caso, metros perforados con horas trabajadas). Mediante un intervalo de confianza del 95% para el factor β , se estimó el verdadero valor de dicho parámetro, dando como resultado un valor distinto de 0 afirmando así que existe una linealidad entre las variables anteriormente mencionadas. Esto permite usar como variable, el rendimiento efectivo de la broca.

3. Comparación de Tratamientos:

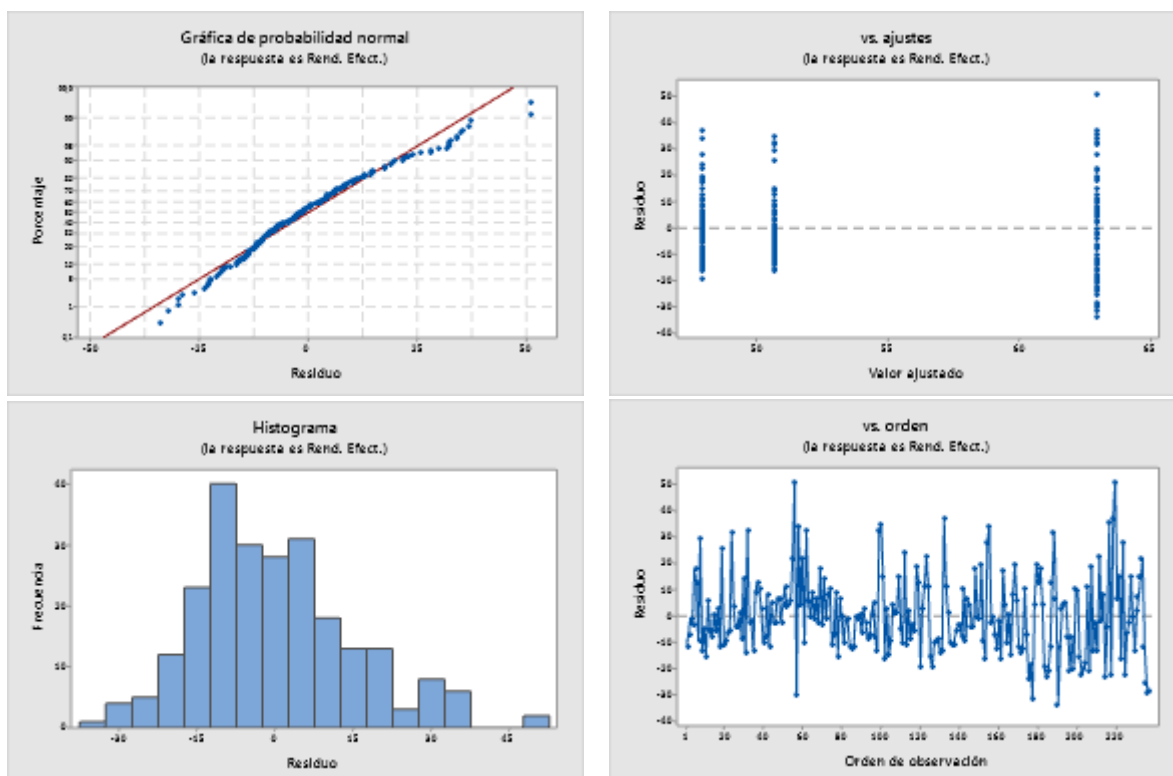
La relación entre los objetivos de investigación y el diseño de tratamientos requiere de su identificación, en cuanto al papel que desempeñan, para la evaluación de la hipótesis. Cuando se realiza un experimento para contestar a preguntas específicas, los tratamientos se seleccionan de manera que las comparaciones entre ellos contesten esas preguntas. ¿Los proveedores influyen en el rendimiento del tricono? ¿Hay diferencias entre los proveedores? ¿Las máquinas influyen en el rendimiento? ¿Hay diferencias entre las máquinas?

3.1. Validación del método

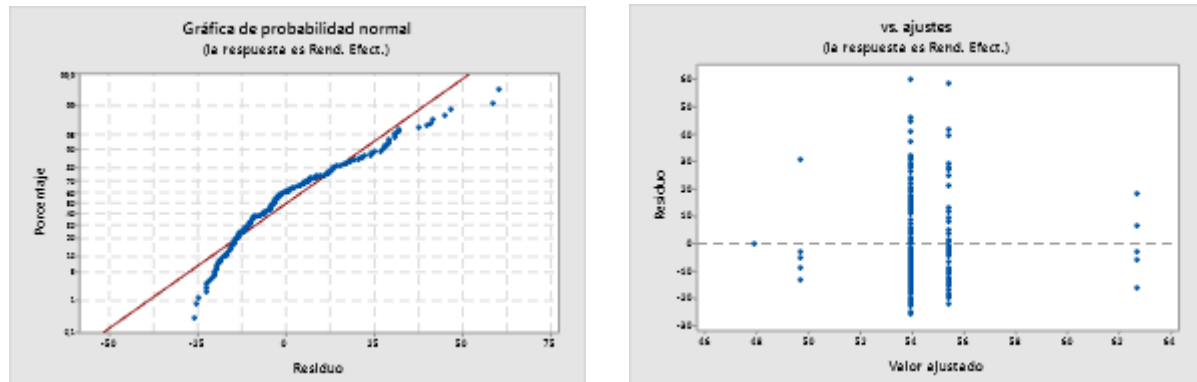
En este apartado, se verificó las suposiciones acerca del error aleatorio, las cuales se basan en que se distribuye normal con media igual a cero y varianza constante.

La variable utilizada para llevar a cabo el estudio de comparación fue el rendimiento efectivo, la cual permite saber si es que existe diferencia entre maquinas en cuanto al desempeño.

(Gráfica 3.1.1)



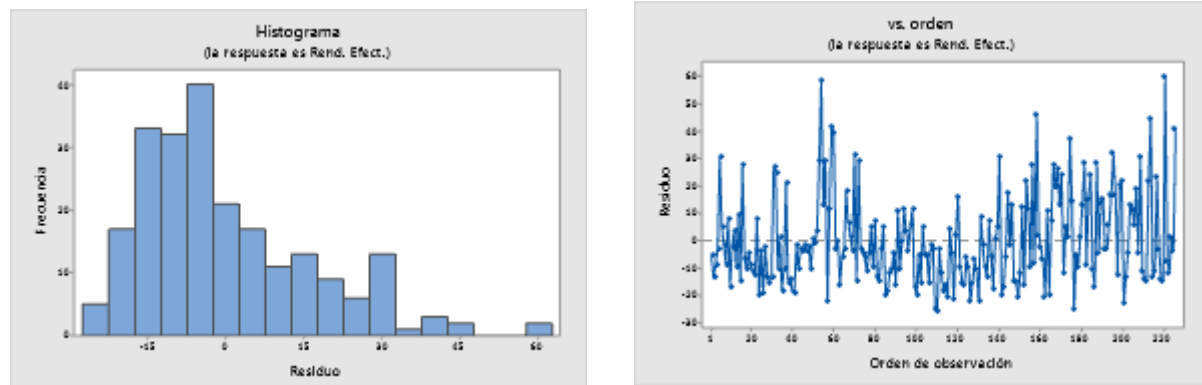
(Gráfica 3.1.2)



3.2. Desarrollo del método

Para cumplir con el objetivo de este trabajo se debió obtener los factores que influyen en la vida útil de tricono.

Debido a ello, primer lugar, se llevó a cabo una comparación entre las tres máquinas presentes en el estudio, la Perforadora Diésel (PD01) y las dos eléctricas (PE01 y PE02). El fin de dicho procedimiento fue saber si efectivamente algunas de las tres máquinas tienen efecto en nuestra variable de estudio (tiempo de vida media). Como resultado, se obtuvo que una de las perforadoras era diferente, la perforadora eléctrica 2 (PE02).



Al diferir una de las tres máquinas, se debe separar el estudio en dos poblaciones distintas, las máquinas en las cuales no existe una diferencia significativa por un lado y la maquina restante, por otro.

Seguidamente, se procedió a la comparación entre los distintos fabricantes de trépanos llegando a la conclusión que el factor de los proveedores no aporta un efecto en ninguna de las dos corrientes de análisis.

4. Confiabilidad:

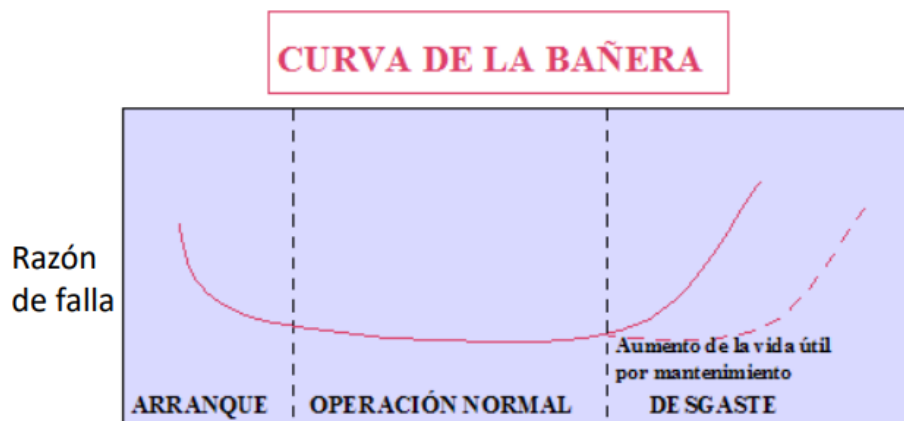
El objetivo principal del trabajo es poder predecir el tiempo de vida útil del trepano tricono. Confiabilidad es la probabilidad de que un componente o sistema desempeñe satisfactoriamente la función para la que fue creado durante un periodo establecido y bajo condiciones de operación establecidas. La confiabilidad es la calidad en el tiempo.

Los tiempos de vida, las resistencias a la rotura, entre otros, son cantidades inherentemente positivas, y además para una variable aleatoria de estas características surge de forma natural la idea de que la aparición de fallos puede seguir el proceso de Poisson, con lo que en este caso la distribución exponencial es más adecuada. En la práctica, los modelos utilizados en fiabilidad son generalizaciones de la distribución exponencial, tales como las distribuciones Gamma y Weibull.

En la siguiente imagen se muestra la curva típica de historia de vida, o como se la llama a veces “curva de bañera”. Esta curva es una representación de la tasa de fallas al transcurrir el tiempo. Tiene tres etapas definidas, arranque, operación normal y desgaste, donde el estudio recae en la etapa de desgaste.

Esta etapa se caracteriza por una razón de falla creciente, y es el periodo durante el cual los componentes fallan sobre todo debido al desgaste. Por lo general, la distribución normal es la que mejor describe esta fase. Sin embargo, se puede utilizar la distribución Weibull con un parámetro de forma mayor que uno, $B > 1$.

(Grafica 4.1)



Debido a la diferencia significativa entre la perforadora eléctrica 2 (PE02), respecto de las otras dos (PD01 y PE01), se procedió a encontrar la distribución de los datos de las perforadoras iguales y, por otro lado, la distribución de la máquina eléctrica 2.

Una vez encontradas las distribuciones de ambas muestras, se calculó el tiempo de vida media, que al tratarse de un elemento que no es reparable, es apropiado llamarlo tiempo medio para falla (MTTF).

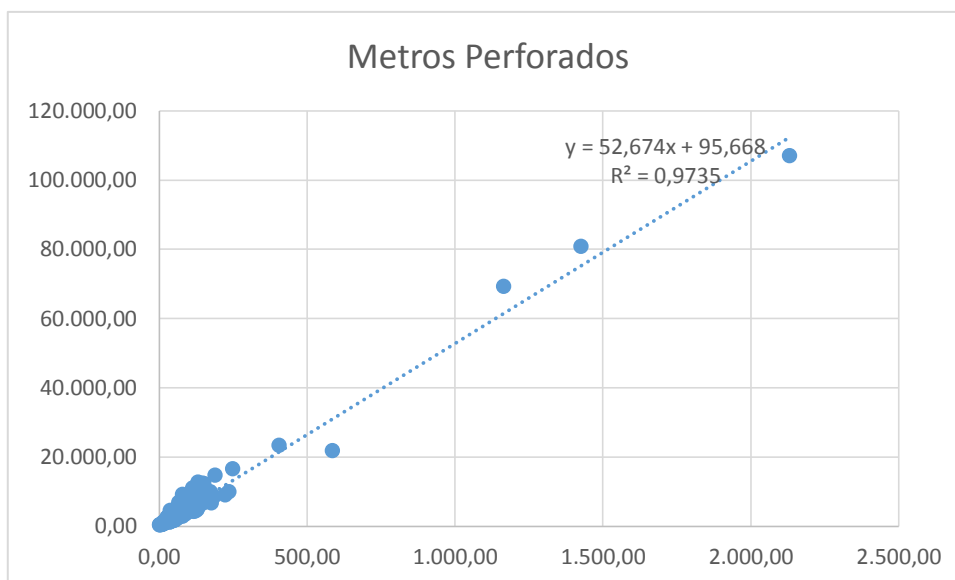
DESARROLLO

1. Regresión

A continuación, se muestra la dispersión de los datos, con la recta que mejor ajusta.

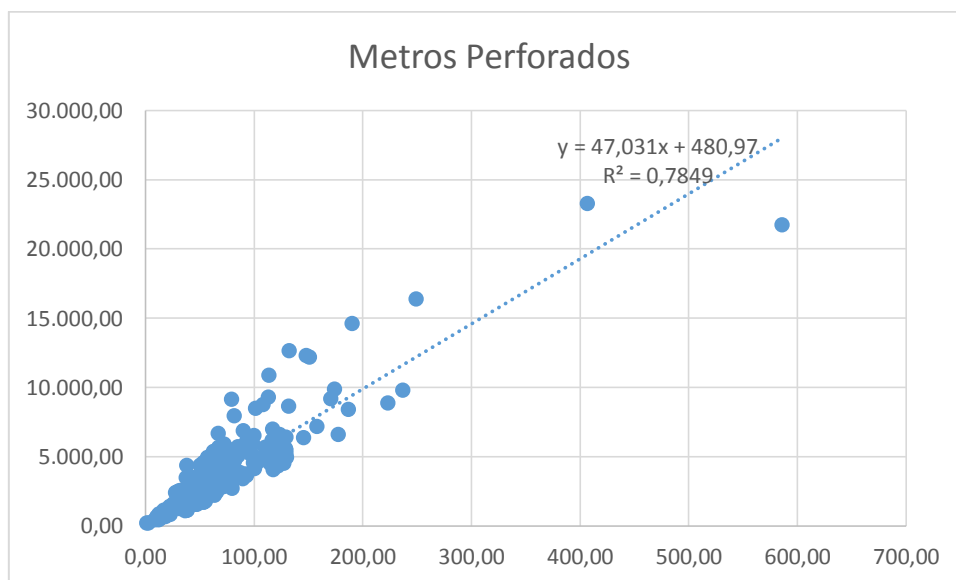
(Grafica 1.1)

Se



observa en el grafico tres valores atípicos, los cuales fueron eliminados para mejorar el estudio.

(Grafico 1.2)



Análisis de varianza correspondiente:

(Tabla 1.1)

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	1673752623	1673752623	803,724426	3,11225E-75
Residuos	219	456066547,7	2082495,652		
Total	220	2129819171			

Valores de los parámetros y su correspondiente intervalo de confianza.

(Tabla 1.2)

	Coeficientes	Error típico	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	476,2624738	157,5234555	165,8065262	786,7184215
43,04138889	47,10787709	1,661651521	43,83300227	50,38275191

Ecuación de regresión:

$$Y(\text{mts}) = 47,1 * X(\text{hs}) + 476,3$$

Los resultados que indican estas tablas aseveran lo que se apreciaba a simple vista en el gráfico. Comparando el Fobservado y el Fcrítico, se rechaza la hipótesis de que el β_0 es igual a cero. En conclusión, si existe relación lineal entre las horas trabajadas y los metros perforados, y debido al valor del coeficiente de correlación, se concluye que la recta estimada es la que mejor ajusta a los datos.

2. Comparación de tratamientos

2.1. Comparación entre las perforadoras

La segunda comparación se realizó entre las tres máquinas con las que cuenta la empresa.

(Tabla 2.1.1)

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
PD01	69	3496,31395	50,6712166	160,256445
PE02	83	5225,96373	62,9634184	388,776891
PE01	85	4072,34919	47,9099904	139,387355

(Tabla 2.1.2)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Entre grupos	10585,4837	2	5292,74184	22,7307719	3,0344139
Dentro de los grupos	54485,6812	234	232,844791		
Total	65071,1649	236			

Se plantearon la mismas hipótesis y región de rechazo que en el análisis anterior.

$$22.73 > 3.034$$

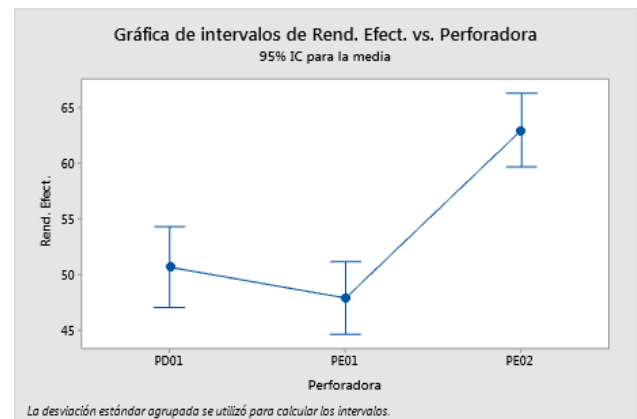
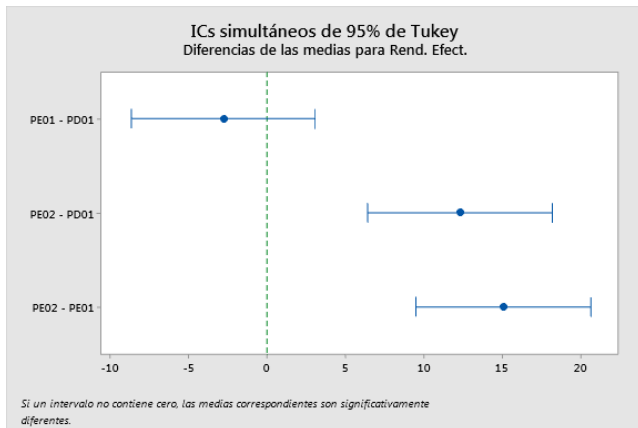
Como la desigualdad se cumple, se rechaza la hipótesis nula, indicando que al menos una máquina difiere de las demás significativamente.

Para comprobar cuáles son las perforadoras que difieren de las demás, se aplicó el método de Tuckey.

(Tabla 2.1.3)

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
PE01 - PD01	-2,76	2,47	(-8,60; 3,08)	-1,12	0,505
PE02 - PD01	12,29	2,49	(6,42; 18,16)	4,94	0,000
PE02 - PE01	15,05	2,35	(9,49; 20,61)	6,39	0,000

(Gráficos 2.1.1)



Analizando las tablas y los gráficos, se observa que la maquina PE02 se diferencia significativamente respecto de las otras en cuanto al rendimiento del trépano. Es por esto que, para realizar la comparación entre los fabricantes, se tomó como muestra, las perforadoras con rendimientos iguales.

2.2. Comparación entre los proveedores

A continuación, se muestran las tablas de cálculo y análisis de varianza.

(Tabla 2.2.1)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Fabricante	4	589,8	147,5	0,52	0,723
Error	220	62711,4	285,1		
Total	224	63301,2			

Las hipótesis planteadas y la región de rechazo son:

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

$$RR \rightarrow F_{obs} > F_{(\alpha; N-1; N-t)}$$

$$H_a: \mu_i \neq \mu_j$$

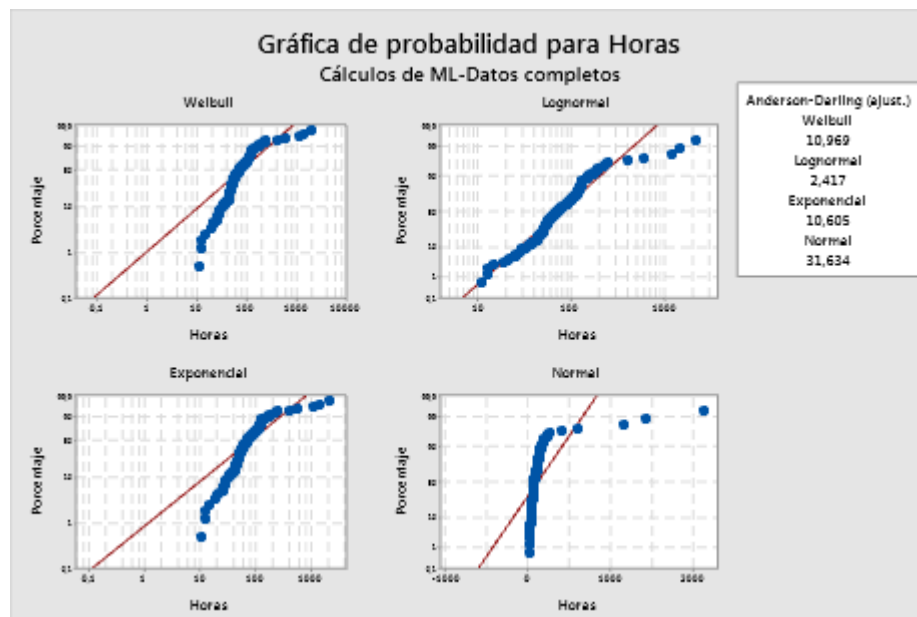
$$0.693 > 2.644$$

Como el F observado es menor que el valor crítico, no se rechaza H_0 , por lo que se puede concluir que no hay variación significativa entre los proveedores, es decir que los proveedores no influyen en la vida útil del tricono.

3. Confiabilidad

3.1. Identificación de la distribución de las perforadoras iguales.

(Grafica 3.1.1)

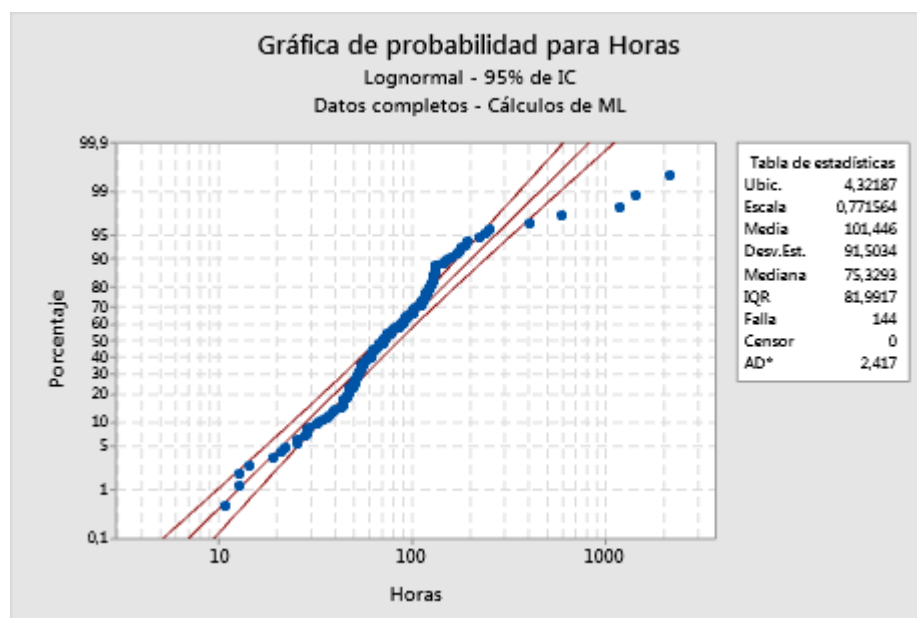


Estimación de MTTF.

(Tabla 3.1.1)

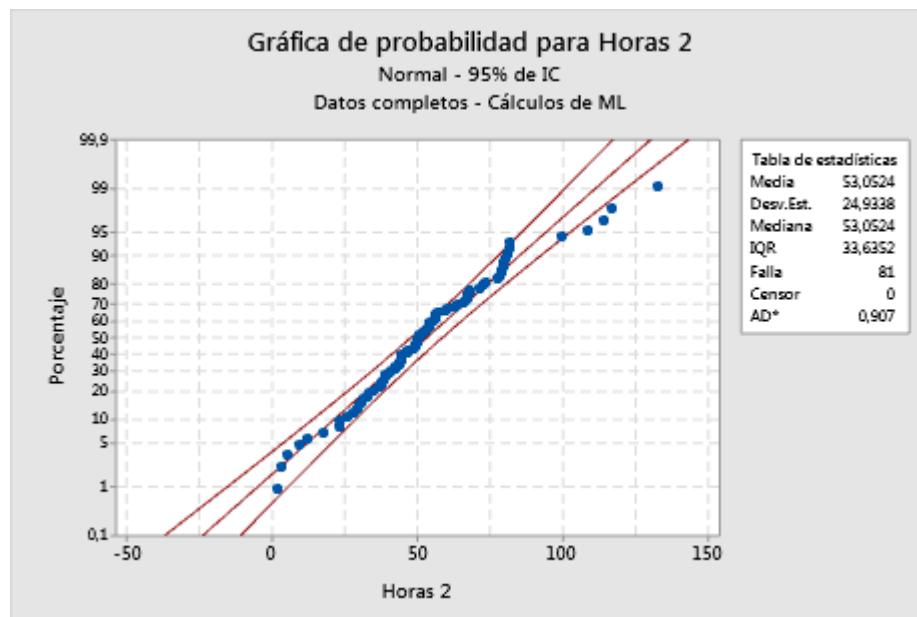
Parámetro	Estimación	Error estándar	IC normal de 95,0%	
			Inferior	Superior
Ubicación	4,32187	0,0642970	4,19585	4,44789
Escala	0,771564	0,0454648	0,687407	0,866023

(Grafica 3.1.2)



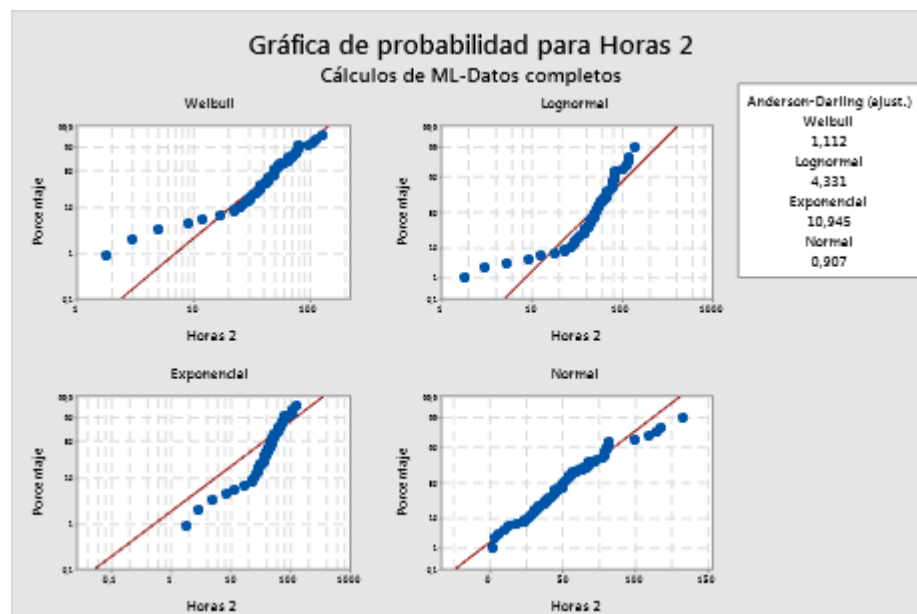
El valor de $MTTF = 101,446$ hs.

Remplazando este valor en la ecuación de regresión, podemos estimar cuantos metros puede perforar antes de la falla.



$$Y(MTTF) = \boxed{5254,4 \text{ m.}}$$

3.2. Identificación de la distribución de la PE02



(Grafica 3.2.1)

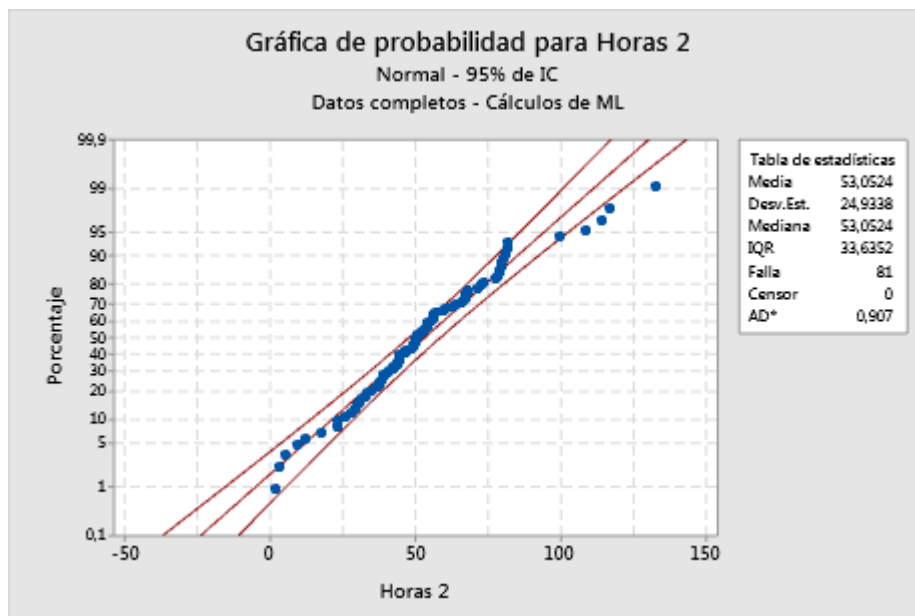
Como se observa en la gráfica, los datos siguen una distribución normal.

(Tabla 3.2.2)

Parámetro	Estimación	Error estándar	IC normal de 95,0%	
			Inferior	Superior
Media	53,0524	2,77042	47,6225	58,4824
Desv.Est.	24,9338	1,95898	21,3753	29,0847

El valor del MTTF es $MTTF = 53,05$ hs.

(Grafica 3.2.2)



Remplazando el valor de la ecuación de la regresión, los metros que perforara antes de la falla serán:

$$Y(MTTF) = \boxed{2974,1 \text{ m.}}$$

CONCLUSIÓN

Después de haber analizado la relación de las piezas de perforación con cada uno de los factores que en un principio pudieran llegar a afectar su rendimiento, ya sean internos o externos, y la variación en cada uno de ellos, (por ejemplo: los distintos fabricantes) se concluye cuáles realmente son los verdaderamente influyentes.

Como se mencionó en el cuerpo del informe y la explicación de todos los pasos seguidos en el desarrollo, si hubo factores que parecían potencialmente influyentes en la producción, y que a la hora de su análisis quedaron apartados, uno de ellos fue el tipo de proveedor. Aun así, se concluyó que no se puede afirmar nada con certeza, debido a que no se cuenta con los datos necesarios.

Además, se confirmó la existencia de una relación lineal entre horas de trabajo y metros perforados donde se obtuvo una ecuación, en la cual se puede variar el tiempo

de perforación, y así obtener la profundidad que perforara la broca en el tiempo respectivo.

Por otro lado, los resultados de los análisis arrojaron que el factor más influyente en el desempeño del equipo, es la máquina que lo utiliza. Con los resultados obtenidos se puede afirmar que la maquina eléctrica 2 (PE02) es la más eficiente.