

RELACIÓN ENTRE LOS PORCENTAJES DE POROSIDAD PERMEABLE Y POROSIDAD ESPECIFICA OBTENIDAS POR METODOLOGÍAS DIFERENTES EN MUESTRAS DE CONCRETO

ING. DINORA SALCEDO
ING. MARIA A. MENDEZ B.
ING. AIMARA QUINTERO

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es estimar una relación matemática entre los porcentajes de porosidad permeable determinados por la Norma ASTM C-642, de una muestra de concreto con la porosidad específica obtenidos según metodología propuesta por Fagerlund, de la absorción capilar. Para la ejecución del trabajo se elaboraron dos diseños de mezcla de relación agua/cemento de 0,50 y 0,65. Con los datos obtenidos de los ensayos ejecutados se realizó un análisis estadístico descriptivo y uno inferencial, con el programa estadístico SPSS 10.0. Se determinó que existe una relación entre porcentaje de Porosidad Permeable con el porcentaje de porosidad efectiva para los dos diseños de mezcla.

Palabra clave: Relación, Estadística, Inferencial, Porosidad

Introducción

En cualquier estudio de durabilidad del concreto armado es importante determinar su porosidad debido a que es la característica física principal que permite la vulnerabilidad del mismo ante el ataque de agentes agresivos ambientales como los sulfatos, el ión cloruro y otros agentes químicos que pueden desencadenar entre otras patologías el fenómeno de la corrosión.

En la actualidad existen Normas que presentan metodología que en forma indirecta ponderan el volumen de espacio vacío que presenta la matriz concreto. Dentro de estos procedimientos disponible esta la metodología propuesta por Fagerlund,(1) donde el mecanismo de penetración que predomina es absorción capilar, que permite cuantificar la porosidad capilar o permeable, llamada también porosidad efectiva, debido a que la forman los poros interconectados que son los responsables de la penetración de los agresores ambientales al interior del concreto.

Partiendo del hecho que la Norma ASTM C-642 (2) determina la porosidad permeable total, en forma sencilla y rápida mientras que el procedimiento de Fagerlund establece la porosidad efectiva, pero en forma laboriosa y larga nos propusimos como objetivo en este trabajo investigación determinar la relación entre los porcentajes de porosidad permeable total y la porosidad efectiva obtenida con la metodología propuesta por Fagerlund.

Como conclusión fundamental de este trabajo se encontró que existe una relación entre el porcentaje de porosidad obtenidos por la Norma ASTM C-642 y la porosidad efectiva obtenidos por el método de absorción capilar de Fagerlund.

Metodología

La metodología utilizada se fundamentó en las Normas COVENIN y comienza con la determinación de los diseños de mezclas para las dos relaciones agua/cemento, considerando la caracterización de los agregados; a continuación se procedió a la elaboración de la pasta de concreto, aplicándole las pruebas de calidad en estado fresco, con la cual se elaboraron los cilindros de concreto de los cuales se extrajeron las probetas ensayadas.

Se realizaron dos diseños de mezclas de relación a/c 0.50 y 0.65 respectivamente, para ambos diseños se trabajó con una muestra de 30 probetas por mezcla y se determinó la porosidad permeable bajo la Norma ASTM C-642, de cada uno de los especímenes de concreto. También para ambos diseños, 30 probetas por mezcla, se determinó el ensayo de absorción capilar siguiendo la metodología propuesta por Fagerlund. Este ensayo difiere del anterior que asegura un completo llenado de la red de capilares.

Al conjunto de datos obtenidos, 30 para cada una de las variables en estudio, se realizó un análisis estadístico descriptivo con las medidas de tendencia central, Histogramas, medidas de dispersión y medidas de forma. Posterior al análisis estadístico descriptivo se procedió a realizar un análisis estadístico inferencial para determinar si existe relación entre el porcentaje de Porosidad Permeable con el porcentaje de Porosidad Efectiva para los dos tipos de diseño de mezclas estudiados con el programa estadístico SPSS 10.0.(3)

Análisis estadístico de las variables porcentaje de porosidad efectiva (e) y porcentaje de porosidad permeable para las probetas con relación a/c= 0,5

Con el fin de encontrar una mejor regresión para las variables porosidad efectiva y porosidad permeable se procedió a descartar los pares de datos que originan residuos altos, generando nuevas corridas del programa. Los resultados correspondientes a la mejor regresión se analizaran a continuación:

Para la variable porosidad efectiva se observó en la Tabla 1 de Estadísticos de Porosidad Efectiva y Porosidad Permeable, que considerando 3 cifras significativas la media y la mediana son iguales a 13. Respecto a los resultados obtenidos con la data original la media no tuvo variación significativa (menor al 1% respecto al valor mayor). El rango de variación disminuyó de 5,4 a 1,4, como se obtiene a partir de los valores máximos y mínimos.

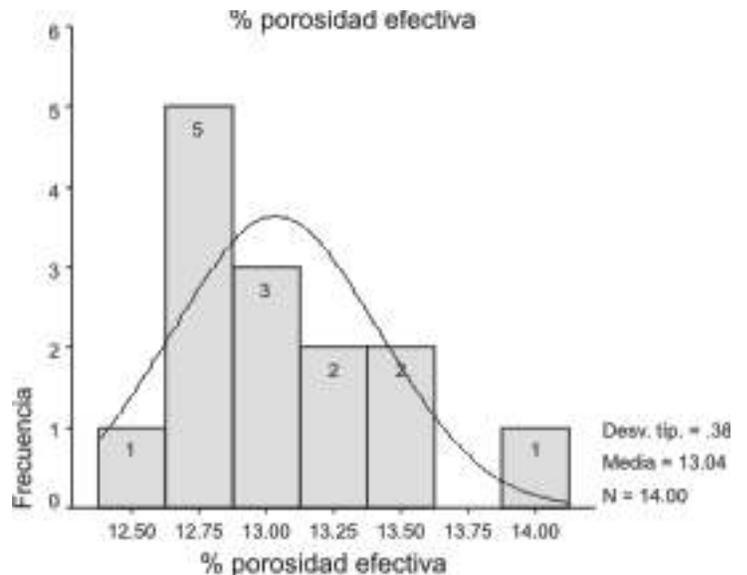
La desviación típica y la varianza están cercanas a cero (0,384 y 0,147 respectivamente) y disminuyeron en relación a los valores originales de 1,18 y 1,4; lo que indicó un superior ajuste de la nube de puntos a la recta de regresión.

Los coeficientes de forma asimetría y curtosis (Tabla 1 de Estadísticos de Porosidad Efectiva y Porosidad Permeable) y el Histograma de % Porosidad Efectiva, Figura 1, indican una distribución asimétrica a la izquierda y mesocúrtica, con un intervalo sin datos, ubicado a la derecha y con una rama izquierda que no tiene tendencia a la normalidad.

Estadísticos			
		% porosidad efectiva	% porosidad permeable
N	Válidos	14	14
	Perdidos	0	0
Media		13.036	13.84
Mediana		12.950	13.90
Moda		12.7	14
Desv. típ.		.384	1.59
Varianza		.147	2.54
Asimetría		.769	.747
Error típ. de asimetría		.597	.597
Curtosis		.288	.596
Error típ. de curtosis		1.154	1.154
Mínimo		12.5	12
Máximo		13.9	17

Tabla 1 Estadísticos de Porosidad Efectiva y Porosidad Permeable

Figura 1 Histograma de %Porosidad Efectiva



Para la porosidad permeable, la Tabla 1 de Estadísticos de Porosidad Efectiva y Porosidad Permeable mostró que la media se conservó en 13,8, la mediana aumentó de 13,8 a 13,9. Se puede considerar, ya que la diferencia es menor al 1%, que la media y la mediana son iguales. La desviación típica aumentó de 1,48 a 1,59 y la varianza de 2,192 a 2,54, lo que implica que el ajuste en torno a la media es inferior. Cabe recordar que el criterio de selección usado para escoger la data reducida se basó en la obtención de la mejora del modelo de regresión lineal, no en la mejora de cada distribución en forma independiente.

La distribución es simétrica, Figura 2 Histograma de %Porosidad Permeable, con frecuencias acumuladas mayores y menores alternativamente a las esperadas según la curva normal y donde no se mostró definido el extremo izquierdo.

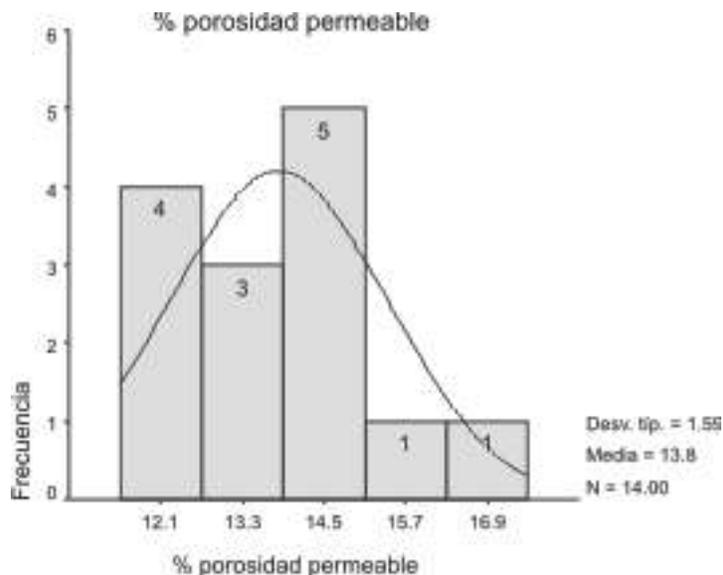


Figura 2 Histograma de %Porosidad Permeable

La nube de puntos de las variables a relacionar mostró disminución de la dispersión, con la data reducida. (Figura 3).

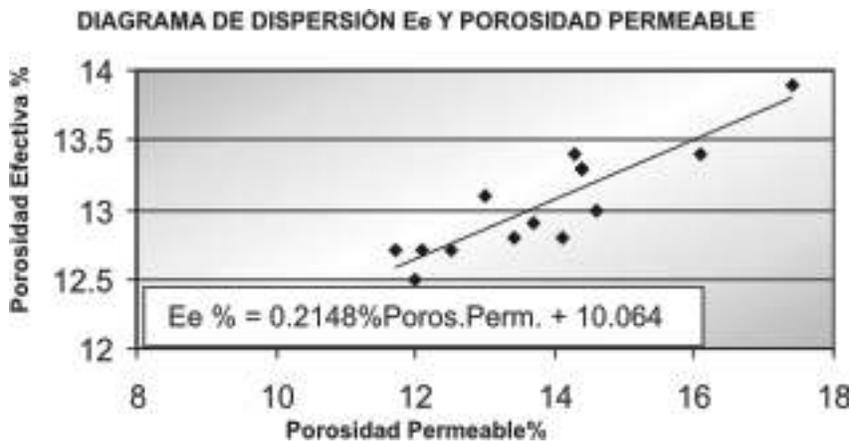


Figura 3 Diagrama de Dispersión de Porosidad Efectiva y Permeable

En cuanto a el valor de R aumentó significativamente, de indicar que no había correlación ($R = 0.142$) pasó a revelar una correlación positiva buena, Tabla 2 Resumen del Modelo. El coeficiente de determinación R^2 señala ahora que el 80,8% de los datos se pueden predecir usando el modelo resultante de este análisis, cuando para 30 datos la posibilidad de predicción era del 2%. El error típico de la estimación indicó que hay un mejor ajuste de la nube de puntos a la recta, y varió de 1,192 a 0,180. (Tabla 2 Resumen del Modelo).

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error tip. de la estimación	Durbin-Watson
1	.899 ^a	.808	.792	.180	2.329

- a. Variables predictoras: (Constante), %Poros permeables
- b. Variable dependiente: E %Porosidad Efectiva

Tabla 2 Resumen del Modelo

El valor de significancia obtenido de la prueba ANOVA (Tabla 3 Anova) indicó que no hay probabilidad de que R sea cero, o sea, que no exista correlación. Para la primera corrida, con 30 pares de datos, la prueba indicó que no existía correlación (valor de significancia calculada = 0,454 0,05 significancia prefijada). La nueva recta de regresión es:

$$\%porosidad Efectiva = 9,931 + 0,224 * (\% porosidad. Permeable).$$

Los datos de la Tabla 4 Coeficientes de Regresión, indica una relación positiva entre la porosidad efectiva y la porosidad permeable.

El intervalo para el valor de los residuos tipificados disminuye de -2,567 y 1,769 a -1,514 y 1,537. En el nuevo rango todos los residuos están dentro del intervalo de valores para el 95% de probabilidad de ocurrencia. Tablas 5 Estadísticos sobre los Residuos.

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1.644	1	1,644	50.643	.000 ^a
	Residual	.389	12	3.245E-02		
	Total	2.033	13			

- a. Variables predictoras: (Constante), %Poros permeables
- b. Variable dependiente: E %Porosidad Efectiva

Tabla 3 Anova

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	Intervalo de confianza para B al 95%	
		B	Error tip.	Beta			Limite inferior	Limite superior
1	(Constante)	9.931	.439		22.626	.000	8.974	10.887
	%Poros permeables	.224	.032	.899	7.116	.000	.156	.293

- a. Variable dependiente: E %Porosidad Efectiva

Tabla 4 Coeficientes de Regresión

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación tip.	N
Valor pronosticado	12.562	13.836	13.035	.356	14
Residuo bruto	-.273	.277	-2.28E-15	.173	14
Valor pronosticado tip.	-1.331	2.252	.000	1.000	14
Residuo tip.	-1.514	1.537	.000	.961	14

- a. Variable dependiente: E %Porosidad Efectiva

Tabla 5 Estadísticos sobre los residuos

Para este modelo de regresión lineal simple se verificaron los siguientes supuestos:

Linealidad: Se cumple, ya que la nube de puntos de la Figura 2, Diagrama de Dispersión Porosidad Efectiva y Porosidad Permeable tiene tendencia a formar una recta. Con N=30 no se cumplió.

Independencia: Por estar el estadístico de Durbin Watson de la Tabla 2, Resumen del Modelo entre el rango de 1,5 y 2,5 se afirmó que se cumple este supuesto. Con N=30 no se cumplió.

Normalidad: Observando la Figura 2, Histograma %Porosidad Efectiva no se encontró que las variaciones de las frecuencias sean progresivas, se intercalan frecuencias altas con bajas y sus valores están sobrepasando o por debajo de la curva. Los datos no se acumulan en el centro. N=30.

Homocedasticidad: En la Figura 4 Gráfico de Dispersión de los Residuos Tipificados se observó que los residuos no siguen ningún patrón, por lo tanto si se cumple el supuesto. También se cumplió en la distribución original.

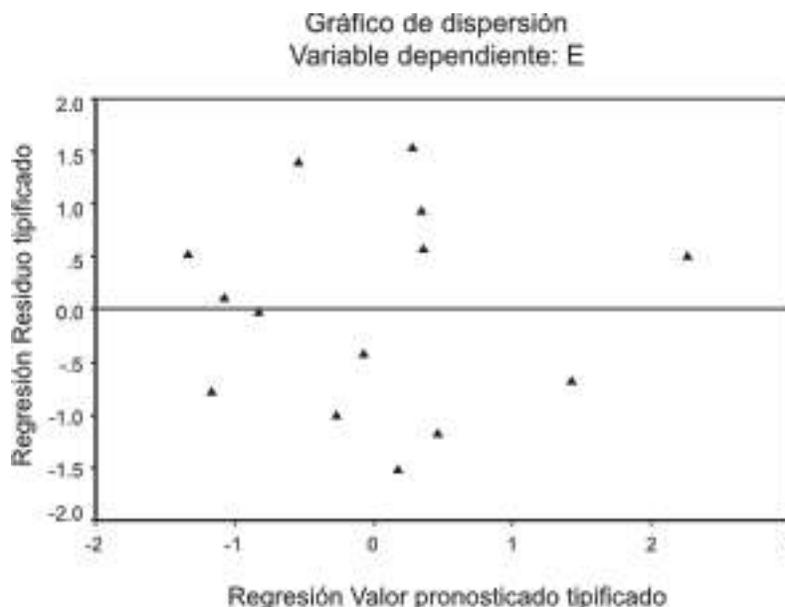


Figura 4 Gráfico de Dispersión de los Residuos Tipificados
 Análisis estadístico de las variables porcentaje de porosidad efectiva (ϵ_e) y porcentaje de porosidad permeable para las probetas con relación $a/c=0,65$

Con la intención de lograr una mejor regresión entre las variables se procedió a eliminar los valores con residuos extremos, en forma sucesiva, generando varias corridas del programa. De la comparación entre los parámetros generados se seleccionó el análisis de regresión que se analiza a continuación:

Para la variable porosidad efectiva se observó (Tabla 6 de Estadísticos) que la media está a la izquierda de la mediana. La media mantiene su valor de 13,6 (con tres cifras significativas) y la mediana varía de 13,6 a 13,7. Esto indica que los valores correspondientes a los residuos eliminados se encontraban en los extremos de la distribución, ya que no resultaron afectadas estas dos medidas de tendencia central.

Tabla 6 Estadísticos

		% Porosidad Efectiva	% Porosidad permeable
N	Válidos	15	15
	Perdidos	0	0
Media		13.560	13.240
Mediana		13.700	13.100
Moda		13.2 ^a	13.6
Desv. tip.		.514	1.008
Varianza		.264	1.017
Asimetría		-.164	1.201
Error tip. de asimetría		.580	.580
Curtosis		-.414	1.457
Error tip. de curtosis		1.121	1.121
Mínimo		12.6	12.0
Máximo		14.4	15.7

a. Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.

La desviación típica disminuyó de 1,28 a 1,01 y la varianza de 0,674 a 1,02 lo que indica que los datos están más alejados de la media, como se observa gráficamente en la Figura 5 Diagrama de Dispersión Variable Porosidad Efectiva.

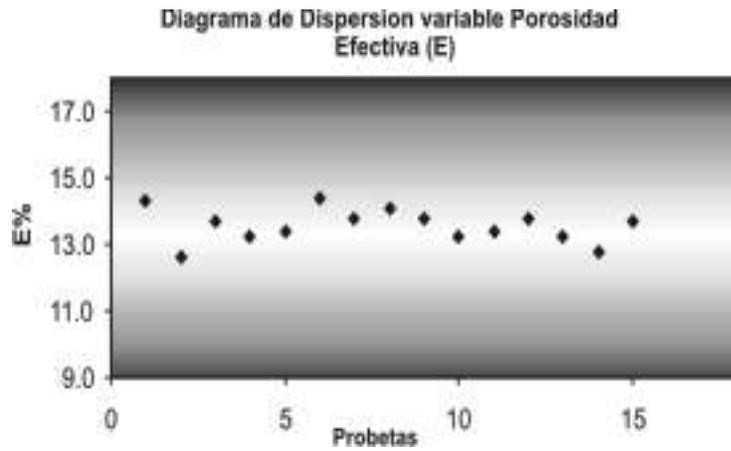


Figura 5 Diagrama de Dispersión Variable Porosidad Efectiva.

La asimetría indicó una distribución asimétrica a la izquierda (como se confirma con la ubicación de la media respecto a la mediana) y la curtosis una distribución platocúrtica (Tabla 6 de Estadísticos), como se observó en el histograma de la Figura 6 histograma %porosidad efectiva. También se notó que los incrementos no son uniformes aunque existe tendencia a la normalidad.

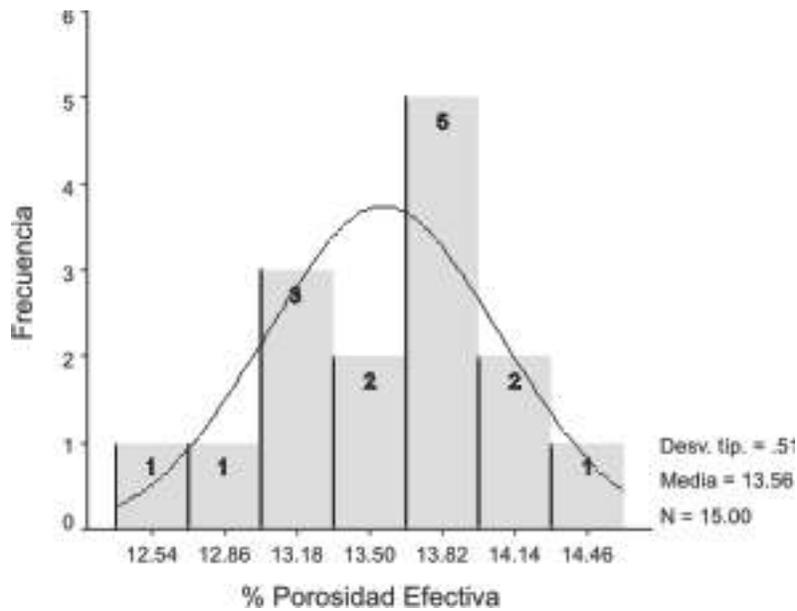


Figura 6 Histograma %Porosidad Efectiva.

Para la porosidad permeable (Tabla 6 de Estadísticos) la media se mantuvo cercana a la anterior, de 13,3 cambió a 13,2. Igualmente en la mediana, que disminuyó de 13,3 a 13,1. Se puede considerar que la media y la mediana conservan la igualdad ya que la magnitud de la variación es pequeña (13,2-13,1).

La desviación típica aumentó de 0,821 a 0,51 y la varianza de 1,64 a 0,26, lo que indica que los datos están menos alejados de la media, como se observa gráficamente en la Figura 7 Diagrama de Dispersión variable Porosidad Permeable.

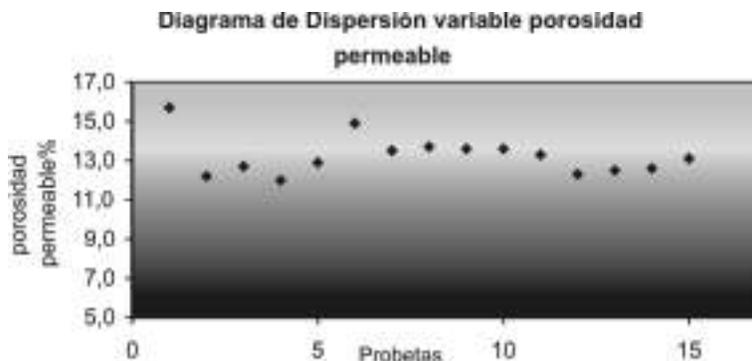


Figura 7 Diagrama de Dispersión variable Porosidad Permeable.

El histograma de la Figura 8 Histograma %Porosidad Permeable mostró que el extremo izquierdo no está definido pero si hay tendencia a la normalidad en los valores.

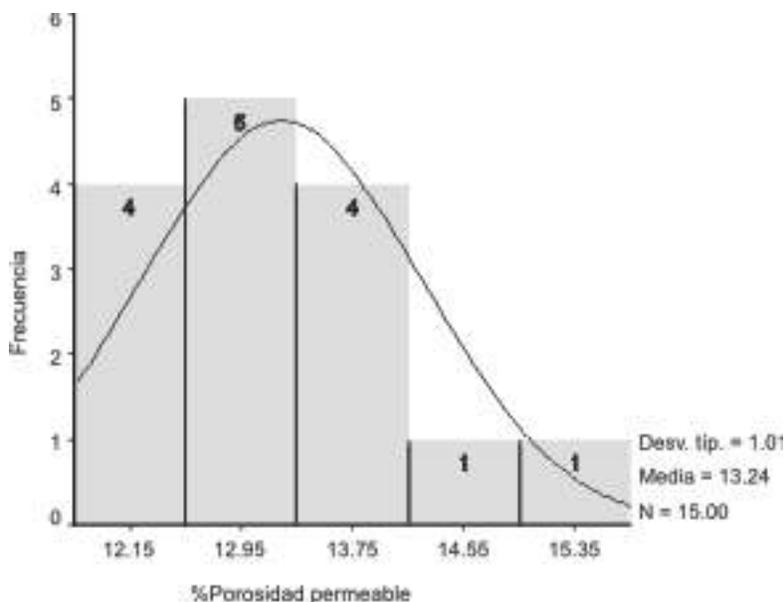


Figura 8 Histograma %Porosidad Permeable.

Con respecto a los resultados obtenidos con N=30 datos: El valor de R aumentó de 0,030 a 0,751. En la Tabla 7 Resumen del Modelo se muestra que el R2 se incrementó de 0,001 a 0,564; o sea, que de un modelo capaz de pronosticar el 0,1% de los datos se pasó a uno que puede predecir a la variable dependiente en el 56,4 % de los casos. El error típico de la estimación disminuyó de 1,304 a 0,531. Lo que indica que mejora el ajuste de los datos a la recta.

La prueba para contrarrestar la hipótesis de nulidad de R arrojó un valor de significancia 0,01; menor a 0,874 que se tenía para la muestra de N=30 y lo más importante, menor a la significancia prefijada 0,05. Tabla 8 Anova.

La nueva ecuación de regresión es:

$$\%e = 8,402 + 0,390 (\%Poros Permeable)$$

Que continuó mostrando una relación positiva entre las variables. Tabla 9 Coeficientes de Correlación y Figura 9 Diagrama de Dispersión para Porosidad Efectiva y Permeable a/c=0.65 y n=15.

Tabla 7 Resumen del Modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregido	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	.751 ^a	.564	.531	.356	2.158

a. Variables predictoras: (Constante), %Porosidad Permeable
 b. Variable dependiente: E %Porosidad Efectiva

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2.131	1	2.131	16.850	.001 ^a
	Residual	1.644	13	.126		
	Total	3.775	14			

a. Variables predictoras: (Constante), %Porosidad Permeable

b. Variable dependiente: E %Porosidad Efectiva

Tabla 8 Anova

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error tip.	Beta		
1	(Constante)	8.402	1.262		6.657	.000
	%Porosidad Permeable	.390	.095	.751	4.105	.001

a. Variable dependiente: E %Porosidad Efectiva

Tabla 9 Coeficientes de Correlación

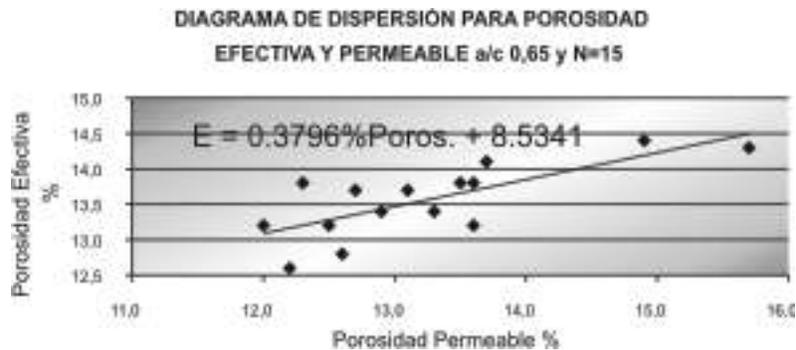


Figura 9 Diagrama de Dispersión Porosidad Efectiva y Permeable.

En concordancia con el resultado obtenido en la prueba ANOVA, la hipótesis $1=0$ se descartó al obtener un valor de significancia observada con la prueba t de 0,001. Para la prueba de la hipótesis $0=0$ la significancia calculada resulto 0. Para la corrida realizada con los 30 datos las dos hipótesis señaladas anteriormente se cumplieron, o sea $1=0$ y $0=0$

Los residuos tipificados son menores al rango -1,96; +1,96. Tabla 10 estadístico sobre los residuos.

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación tip.	N
Valor pronosticado	13.081	14.513	13.570	.390	15
Residuo bruto	-.577	.632	-1.78E-15	.343	15
Valor pronosticado tip.	-1.254	2.418	.000	1.000	15
Residuo tip.	-1.622	1.777	.000	.964	15

a. Variable dependiente: E %Porosidad Efectiva

Tabla 10 Estadístico sobre los Residuos

El supuesto de linealidad se verificó con el diagrama de dispersión de la y Figura 9 Diagrama de Dispersión para Porosidad Efectiva y Permeable a/c=0.65 y n=15. Donde se observó que los puntos tienen tendencia a una recta, por lo tanto se cumplió el supuesto.

El supuesto de normalidad se cumplió, en la Figura 10 Histograma variable dependiente Porosidad Efectiva se mostró como las barras de las frecuencias acumuladas de los residuos se acercaron a la curva normal. La distribución obtenida para la data completa tiene mejor comportamiento.

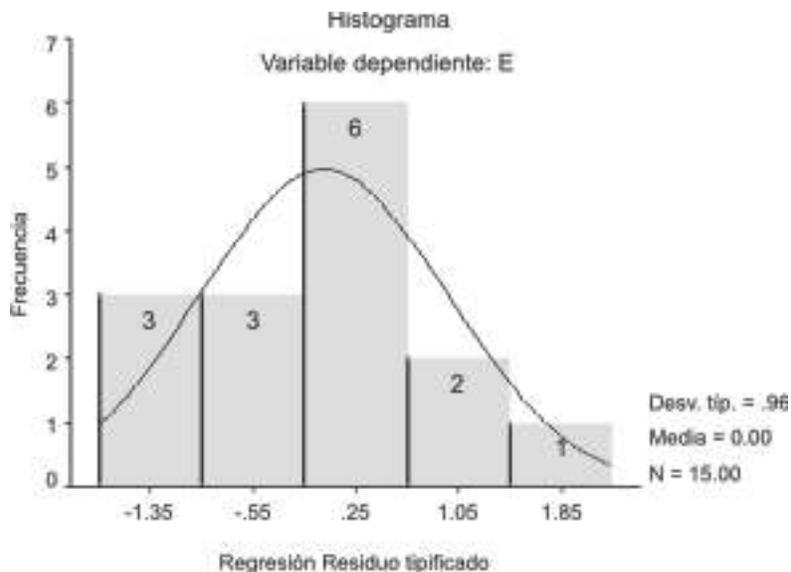


Figura 10 Histograma Variable dependiente Porosidad Efectiva

El supuesto de independencia se continúa cumpliendo, el valor de Durbin Watson se conservó en el intervalo 1,5-2,5. Tabla 7 Resumen del Modelo.

El supuesto de homocedasticidad se cumplió, en el Gráfico de Dispersión de la Figura 11 tal no se pudo describir un comportamiento regular.

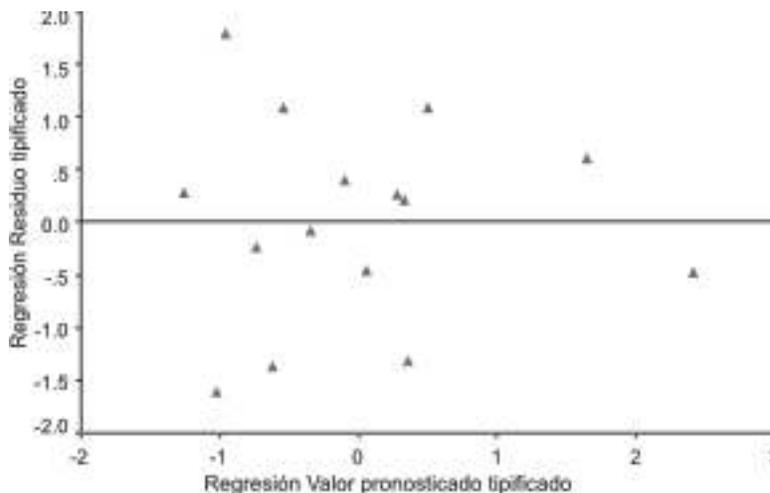


Figura 11 Gráfico de Dispersión, Porosidad Efectiva

Conclusiones

*Las rectas de regresión indicaron que la relación entre el porcentaje de porosidad permeable y el porcentaje de porosidad efectiva es positiva, a medida que aumenta la primera variable lo hace la otra.

*Las regresiones obtenidas, desde el punto de vista numérico, se consideran buenas.

Referencias Bibliográficas

1. Astm C642 – 90.: “Standard Test Method fo Specific Gravity, Absortion and Voids in Hardened Concrete”

2. Fagerlund, G. 1986: “On The Capilarity of Concrete”. Nordic Concrete Research, N°1, Oslo, Ppe N°6.

3. Walpole Ronald, Myers Raymond. 1992. “Probabilidad y Estadística”. Cuarta Edición. Editora Mc Graw Hill.