

TC-10

**DETERMINAR LA RELACIÓN ENTRE LOS PORCENTAJES DE
POROSIDAD PERMEABLE Y AGUA ABSORBIDA DE UNA MUESTRA DE
CONCRETO DETERMINADA CON LOS PARÁMETROS QUE SE
OBTIENEN CON EL METODO DE ABSORCIÓN CAPILAR**

Salcedo, Dinora / Quintero, Aimara / Méndez, María / Suárez, Mariana
Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado", Barquisimeto, Venezuela.
dinorasp@yahoo.es

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 los porcentajes de porosidad obtenidos por la Norma ASTM C-642 y los parámetros obtenidos por el método de absorción capilar de porosidad efectiva.

Metodología

La metodología utilizada se fundamenta en las Normas COVENIN y comienza con la determinación de los diseños de mezclas para las distintas 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 (ϵ_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 regresión mejor se analizarán a continuación:

Para la variable porosidad efectiva se observó en la tabla 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

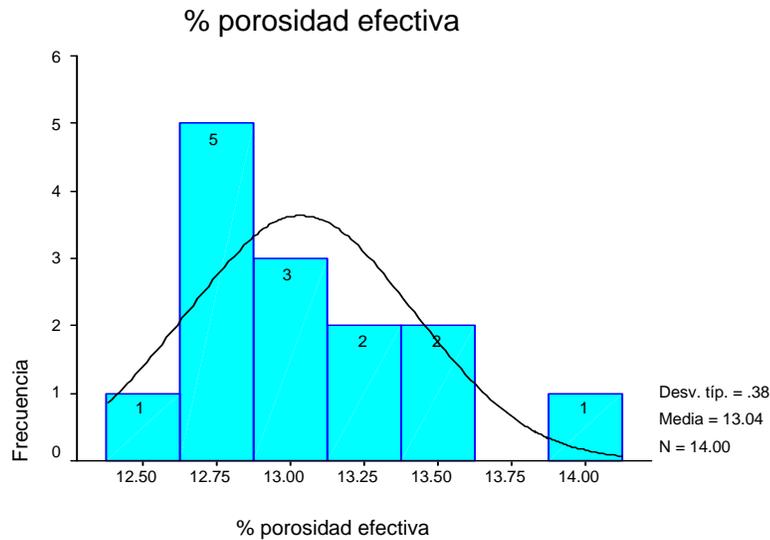
1 tabla de estadísticos de porosidad efectiva y porosidad permeable
Fuente propia

| | | % 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 |

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 de estadísticos de porosidad efectiva y porosidad permeable) y el histograma de la figura histograma de %porosidad efectiva, 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.

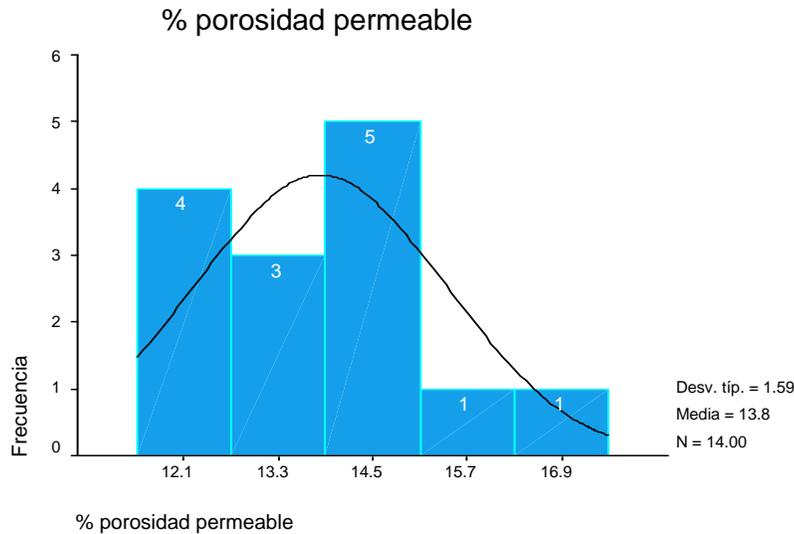


1 figura histograma de %porosidad efectiva
Fuente: propia

Para la porosidad permeable, la tabla 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.

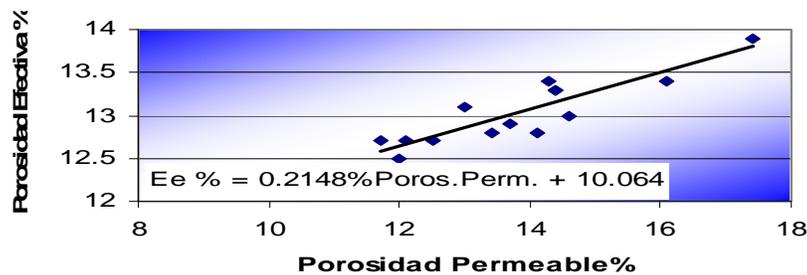
La desviación típica aumentó de 1,48 a 1,59 y la varianza de 2,192 a 2,54, lo que implica que el ajuste en torno a la media es inferior. Cabe recordar que el criterio de selección usado para escoger la data reducida se basó en la obtención de la mejora del modelo de regresión lineal, no en la mejora de cada distribución en forma independiente.

La distribución es simétrica, figura 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.



2 figura histograma de %porosidad permeable
Fuente: propia

Comparando con respecto a la regresión hecha para 30 probetas se obtiene: La nube de puntos de las variables a relacionar mostró disminución de la dispersión. (Figura diagrama de dispersión efectiva y porosidad permeable).



3 figura diagrama de dispersión efectiva y porosidad permeable
Fuente: propia

El valor de R aumentó significativamente, de indicar que no había correlación ($R = 0.142$) pasó a revelar una correlación positiva buena. Tabla 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 resumen del modelo).

2 tabla resumen del modelo
Fuente propia

| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. 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

El valor de significancia obtenido de la prueba ANOVA (Tabla 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 = $0,454 \geq 0,05$ significancia prefijada). La nueva recta de regresión es:

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

Los datos de la Tabla 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 estadísticas sobre los residuos y tabla datos de última corrida .

3 tabla anova
Fuente propia

| 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

4 tabla coeficientes de regresión
Fuente propia

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | t | Sig. | Intervalo de confianza para B al 95% | |
|-------------------|--------------------------------|------------|-----------------------------|--------|------|--------------------------------------|-----------------|
| | B | Error típ. | Beta | | | Límite inferior | Límite 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

5 tabla estadísticos sobre los residuos
Fuente propia

| | Mínimo | Máximo | Media | Desviación típ. | 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

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

Linealidad: Se cumple, ya que la nube de puntos de la figura diagrama de dispersión efectiva y porosidad permeable tiene tendencia a formar una recta. Con N=30 no se cumplió.

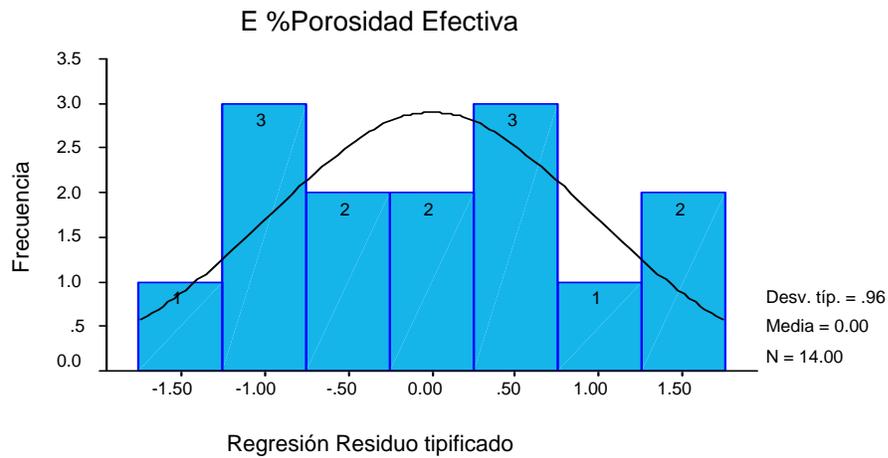
Independencia: Por estar el estadístico de Durbin Watson de la Tabla resumen del modelo entre el rango de 1,5 y 2,5 se afirmó que se cumple este supuesto. Con N=30 no se cumplió.

Normalidad: Observando la figura histograma E %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.

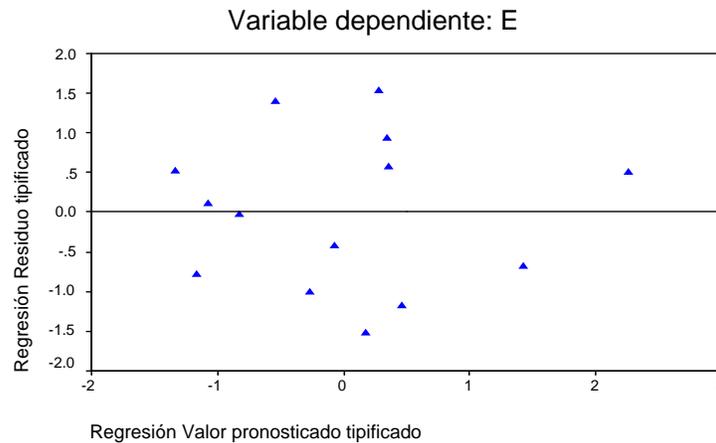
Homocedasticidad: En la figura gráfico de dispersión de los residuos tipificados se observó que los residuos no siguen ningún patrón, por lo tanto si se cumple el supuesto. También se cumplió en la distribución original.

6 tabla datos de última corrida
Fuente propia

| Datos | % porosidad efectiva | % porosidad permeable | Pronósticos E | Residuos | Pronósticos tipificados | Residuos tipificados |
|-------|----------------------------|-----------------------------|------------------|----------|----------------------------|-------------------------|
| 1 | 12.5 | 12 | 12.6215 | -0.1397 | -1.16376 | -0.77545 |
| 4 | 13.4 | 14.3 | 13.13448 | 0.27685 | 0.27893 | 1.53675 |
| 5 | 12.7 | 12.5 | 12.73884 | -0.0047 | -0.83376 | -0.02611 |
| 7 | 12.9 | 13.7 | 13.00793 | -0.0766 | -0.07696 | -0.4252 |
| 8 | 13.3 | 14.4 | 13.16082 | 0.10313 | 0.35302 | 0.57246 |
| 9 | 13.3 | 14.4 | 13.15854 | 0.16927 | 0.3466 | 0.9396 |
| 16 | 12.8 | 14.1 | 13.09847 | -0.27271 | 0.17766 | -1.51378 |
| 21 | 12.7 | 11.7 | 12.56211 | 0.09498 | -1.33079 | 0.52724 |
| 24 | 13.1 | 13 | 12.84478 | 0.25163 | -0.53581 | 1.39676 |
| 25 | 12.8 | 13.4 | 12.93768 | -0.18132 | -0.27454 | -1.00646 |
| 27 | 13.4 | 16.1 | 13.54086 | -0.12285 | 1.42184 | -0.68191 |
| 28 | 13 | 14.6 | 13.19898 | -0.21083 | 0.46033 | -1.17027 |
| 29 | 12.7 | 12.1 | 12.65331 | 0.02019 | -1.07429 | 0.11206 |
| 30 | 13.9 | 17.4 | 13.83588 | 0.09266 | 2.25153 | 0.51432 |



4 figura histograma E %porosidad efectiva
Fuente: propia



5 figura gráfico de dispersión de los residuos tipificados
Fuente: propia

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:

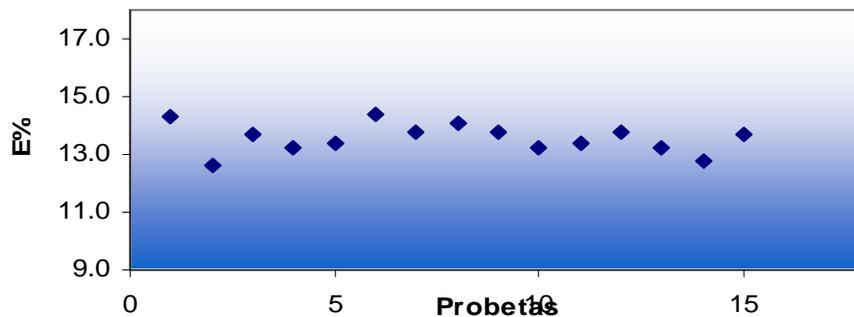
Para la variable porosidad efectiva se observó (7 tabla de estadísticos) que la media está a la izquierda de la mediana. La media mantiene su valor de *13,6* (con tres cifras significativas) y la mediana varía de *13,6* a *13,7*. Esto indica que los valores correspondientes a los residuos eliminados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

7 tabla de estadísticos
Fuente propia

| | | % 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. típ. | | .514 | 1.008 |
| Varianza | | .264 | 1.017 |
| Asimetría | | -.164 | 1.201 |
| Error típ. de asimetría | | .580 | .580 |
| Curtosis | | -.414 | 1.457 |
| Error típ. de curtosis | | 1.121 | 1.121 |
| Mínimo | | 12.6 | 12.0 |
| Máximo | | 14.4 | 15.7 |

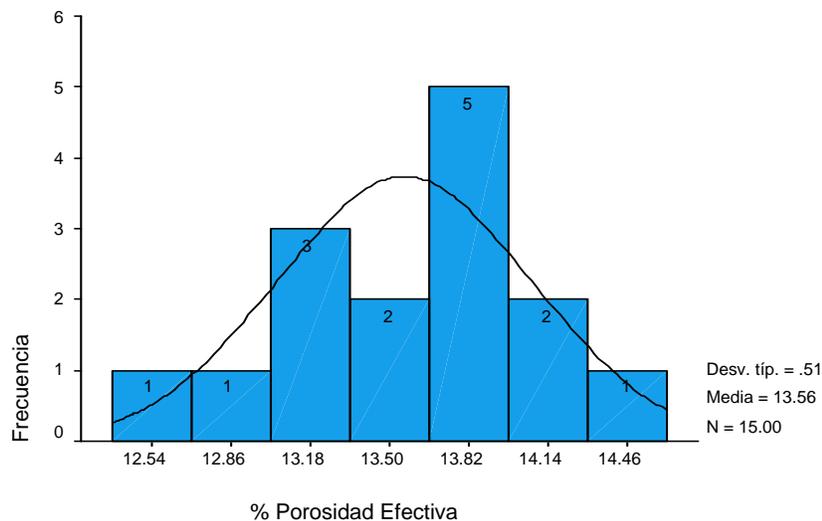
a. Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.

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 diagrama de Dispersión Variable Porosidad Efectiva.



6 figura diagrama de Dispersión Variable Porosidad Efectiva.
Fuente: Propia

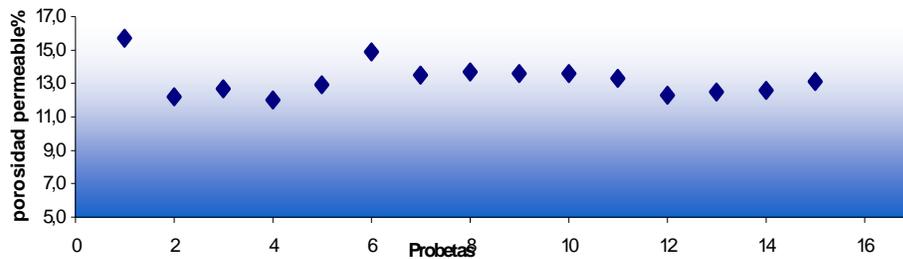
La asimetría indicó una distribución asimétrica a la izquierda (como se confirma con la ubicación de la media respecto a la mediana) y la curtosis una distribución platicúrtica (tabla de estadísticos), como se observó en el histograma de la figura 7 figura histograma %porosidad efectiva. También se notó que los incrementos no son uniformes aunque existe tendencia a la normalidad.



7 figura histograma %porosidad efectiva.
Fuente: propia

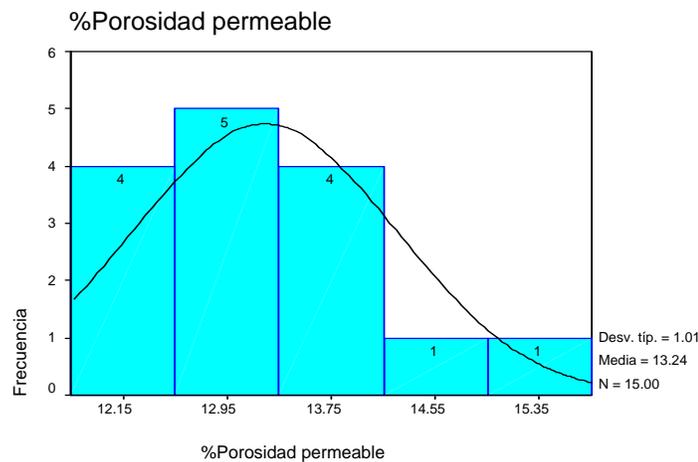
Para la porosidad permeable (tabla de estadísticos) la media se mantuvo cercana a la anterior, de *13,3* cambió a *13,2*. Igualmente en la mediana, que disminuyó de *13,3* a *13,1*. Se puede considerar que la media y la mediana conservan la igualdad ya que la magnitud de la variación es pequeña (*13,2-13,1*).

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 8 figura diagrama de dispersión variable porosidad permeable.



8 figura diagrama de dispersión variable porosidad permeable.
Fuente: propia

El histograma de la 9 figura histograma %porosidad permeable mostró que el extremo izquierdo no está definido pero si hay tendencia a la normalidad en los valores.



9 figura histograma %porosidad permeable.
Fuente: Propia

Con respecto a los resultados obtenidos con N=30 datos: El valor de R aumentó de 0,030 a 0,751. Tabla 8 tabla resumen del modelo, R^2 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. Tabla 8 tabla resumen del modelo

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 9 tabla anova..

La nueva ecuación de regresión es:

$$\% \varepsilon_e = 8,402 + 0,390 (\% \text{Poros Permeable})$$

Que continuó mostrando una relación positiva entre las variables. Tabla 10 tabla coeficientes de correlación y figura diagrama de dispersión para porosidad efectiva y permeable $a/c=0.65$ y $n=15$.

8 tabla resumen del modelo
Fuente propia

| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | 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

9 tabla anova
Fuente propia

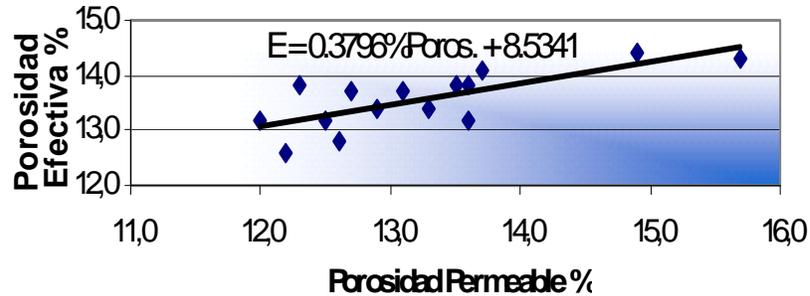
| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|--------|-----------|-------------------|----|------------------|--------|-------------------|
| 1 | Regresión | 2.131 | 1 | 2.131 | 16.850 | .001 ^a |
| | Residual | 1.644 | 13 | .126 | | |
| | Total | 3.775 | 14 | | | |

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

10 tabla coeficientes de correlación
Fuente propia

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

- a. Variable dependiente: E %Porosidad Efectiva



10 figura diagrama de dispersión para porosidad efectiva y permeable a/c=0.65 y n=15.
Fuente: propia

En concordancia con el resultado obtenido en la prueba ANOVA, la hipótesis $\beta_1=0$ se descartó al obtener un valor de significancia observada con la prueba t de 0,001. Para la prueba de la hipótesis $\beta_0=0$ la significancia calculada resulto 0. Para la corrida realizada con los 30 datos las dos hipótesis señaladas anteriormente se cumplieron, o sea $\beta_1=0$ y $\beta_0=0$

Los residuos tipificados son menores al rango $-1,96$; $+1,96$. 11 tabla estadístico sobre los residuos

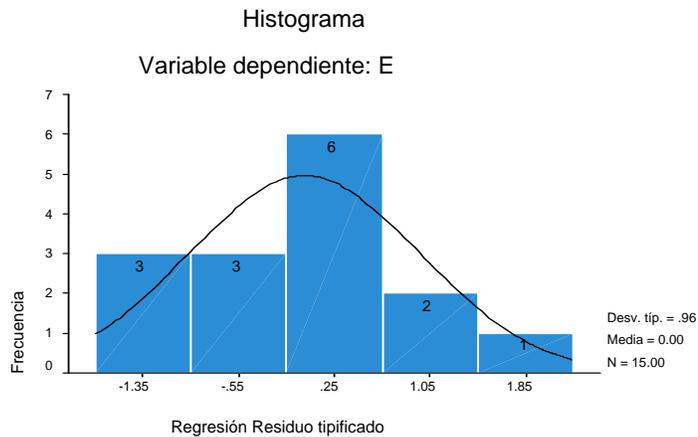
11 tabla estadístico sobre los residuos |
Fuente propia

| | Mínimo | Máximo | Media | Desviación típ. | 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

El supuesto de linealidad se verificó con el diagrama de dispersión de la y 10 figura 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.

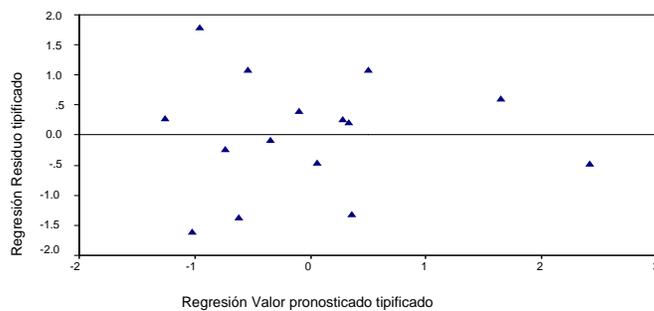
El supuesto de normalidad se cumplió, en la 11 figura histograma variable dependiente porosidad efectiva se mostró como las barras de las frecuencias acumuladas de los residuos se acercaron a la curva normal. La distribución obtenida para la data completa tiene mejor comportamiento.



11 figura histograma variable dependiente porosidad efectiva
Fuente: propia

El supuesto de independencia se continúa cumpliendo, el valor de Durbin Watson se conservó en el intervalo 1,5-2,5. 8 tabla resumen del modelo

El supuesto de homocedasticidad se cumplió, en el gráfico de dispersión de la figura tal no se pudo describir un comportamiento regular. 12 figura gráfico de dispersión variable dependiente porosidad efectiva.



12 figura gráfico de dispersión variable dependiente porosidad efectiva
Fuente: propia

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. Fagerlund, g.: "on the capilarity of concrete". nordic concrete research, n°1, oslo, ppe n°6. 1986
2. Astm c642 – 90.: "standard test method fo specific gravity, absortion and voids in hardened concrete
3. Walpole ronald, myers raymond, (1992). "probabilidad y estadística". cuarta edición. editora mc graw hill.