

COMPARACIÓN MEDIANTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGONES H21, H23 Y H25

COMPARISON THROUGH DESTRUCTIVE AND NON-DESTRUCTIVE TESTS OF THE COMPRESSION STRENGTH OF CONCRETE H21, H23 AND H25

GUTIÉRREZ VACA, J. A., LÓPEZ MEJÍA, E. E.

RESUMEN

Se realizó un análisis comparativo entre los ensayos destructivos y no destructivos que se utilizan para determinar la resistencia a compresión in situ del hormigón en nuestro medio. Se realizaron losas experimentales en laboratorio de distintas resistencias, con dimensiones que simulen el hormigón rígido vaciado en obras de pavimentación, donde se llevó a cabo los ensayos de verificación in situ: extracción de núcleos a futura rotura a compresión, determinación del número de rebote en el hormigón endurecido (esclerómetro), y el ensayo de Ultrasonido. Los ensayos de extracción de núcleos y esclerómetro se realizaron a los 7, 14 y 28 días, se elaboraron curvas de correlación comparando ambos grupos de valores, y se determinó coeficientes de calibración, utilizados para calibrar la tabla original que viene de fábrica con el equipo Martillo de Schmidt (esclerómetro), para cada tipo de hormigón: H21, H23 y H25. Mediante el Ultrasonido se calculó la velocidad de pulso ultrasónico en cada losa a los 28 días, obteniendo una noción de la compactación del hormigón y se determinó la calidad de éste. En probetas elaboradas con hormigón fresco no se les realizó el curado, colocando las muestras en la intemperie, determinando un porcentaje de variación con el grupo de probetas curadas a 7, 14 y 28 días.

PALABRAS CLAVE

Hormigón. Ensayo Destructivo. Resistencia a la Compresión. Ensayo No Destructivo. Martillo de Schmidt. Ultrasonido.

ABSTRACT

A comparative analysis was carried out between the destructive and non-destructive tests that are used to determine the in situ compressive strength of concrete in our environment. Experimental slabs of different resistances were made in the laboratory, with dimensions that simulate the rigid concrete poured in paving works, where the verification tests were carried out in situ: extraction of cores at future compression rupture, determination of the rebound number in the hardened concrete (sclerometer), and the Ultrasound test. The core extraction and sclerometer tests were performed at 7, 14 and 28 days, correlation curves were drawn comparing both groups of values, and calibration coefficients were determined, used to calibrate the original table that comes from the factory with the equipment. Schmidt's hammer (sclerometer), for each type of concrete: H21, H23 and H25. Through Ultrasound, the ultrasonic pulse velocity was calculated in each slab at 28 days, obtaining a notion of the compactness of the concrete and its quality was determined. In specimens made with fresh concrete, curing was not carried out, placing the samples outdoors, determining a percentage of variation with the group of specimens cured at 7, 14 and 28 days.

KEYWORDS

Concrete. Destructive test. Compression resistance. Non Destructive Test. Schmidt's hammer. Ultrasound.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, en los proyectos de pavimentación de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, se observa una discrepancia en la aceptación de los ensayos no destructivos como ensayos alternativos para determinar la resistencia in situ del hormigón.

Existe cierta desconfianza en los resultados que ofrecen estos ensayos ya que no se llevan a cabo campañas de calibración previa de los equipos en laboratorio. En este sentido, se ve necesario la generación de un procedimiento de calibración de los equipos, previo a efectuar ensayos en campo.

El hormigón puede ser definido como la mezcla de un material aglutinante, normalmente cemento Portland Hidráulico, un material de relleno (agregados), agua y, eventualmente, aditivos que, al endurecerse, forman un sólido compacto que, después de cierto tiempo, es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión.

Sánchez de Guzmán (1997) afirma:

Constituidos por diferentes materiales, los cuales debidamente dosificados y mezclados se integran para formar elementos monolíticos que proporcionan resistencia y durabilidad a las estructuras. Dependen de su aplicación y su evolución, de un adecuado conocimiento de sus constituyentes y de sus propiedades físicas y químicas, las cuales deben ser estudiadas y analizadas conforme con los patrones de control de calidad. (Sánchez de Guzmán, 1997)

Generalmente se utiliza en estructuras de concreto armado, en las cuales hay una perfecta unión entre el acero y el concreto, porque la asociación de dos materiales proporciona un sólido, único desde el punto de vista mecánico. El hormigón, como las piedras naturales, aporta una resistencia muy grande a los esfuerzos de compresión; y las varillas de acero aportan resistencia a los esfuerzos de tracción. De tal forma que en conjunto pueden absorber todo tipo de esfuerzos, compresión, tracción, flexión, etc., circunstancia que le permite desempeñarse como un gran material estructural.

El hormigón es un material que está gobernado por las propiedades del hormigón fresco, por el tipo de construcción, por las técnicas de colocación y de transporte. Las propiedades del hormigón endurecido están especificadas por el diseñador de la estructura. En general, cada tipo de construcción tiene requerimientos particulares que dependen de las condiciones climáticas, del sistema constructivo, del tiempo y de los costos de construcción.

La resistencia a la compresión del hormigón es una variable fundamental que permite conocer cuándo un concreto es suficientemente resistente para poder soportar ciertas cargas admisibles.

Esta resistencia se calcula mediante el ensayo de rotura de probetas cilíndricas bajo compresión simple, empleando una carga uniaxial a una velocidad constante, la cual otorga un resultado que se toma como indicador de la resistencia a la compresión de los elementos del hormigón.

No es fácil definir la resistencia del hormigón, ya que la medida de resistencia obtenida por la resistencia de materiales solo es un valor convencional que depende de muchos factores. Jiménez Montoya, Meseguer, Cabré, Arroyo Portero. (2009) afirman:

No es fácil definir las resistencias de un hormigón, porque su comportamiento, frente a los distintos esfuerzos a que ha de estar sometido, es variable y complejo. Las medidas de las resistencias por la Resistencia de Materiales pueden servir

de base y punto de referencia, pero no son más que valores convencionales que dependen de multitud de factores: unos de ellos, ligados con el material en sí (granulometría y calidad de cemento y áridos, dosificación, confección); otros, dependientes de los métodos de ensayo forma y dimensiones de las probetas, conservación de estas, edad, tipo de sollicitación, velocidad de carga. (Jiménez Montoya, Meseguer, Cabré, Arroyo Portero, 2009)

Por esta causa, el comportamiento resistente del hormigón en las distintas piezas de una estructura, será distinto del correspondiente a la probeta que sirvió de base para determinar su resistencia. Por otra parte, existe una dispersión en los resultados de las distintas probetas de un mismo ensayo. Según su naturaleza, los métodos de ensayo normalmente empleados para determinar las resistencias del hormigón pueden clasificarse en destructivos y no destructivos.

Los ensayos destructivos son aquellos que determinan la resistencia mediante la rotura de probetas o piezas de hormigón. Las probetas pueden fabricarse en moldes apropiados al tiempo que se coloca el hormigón de la obra, o bien extraerse de una obra ya construida. Los ensayos no destructivos determinan la calidad del hormigón sin destruir la pieza o estructura ensayada.

El ensayo *in situ* de extracción y rotura de Núcleos de una estructura ya existente, establecido en las normativas americanas ASTM - C42 y ASTM C-39, es el método tradicionalmente utilizado para estimar la resistencia a compresión del hormigón endurecido. La velocidad de pulso ultrasónico normalizado por la ASTM - C597 y el método de prueba estándar para el número de rebote de concreto endurecido normalizado en la ASTM - 805, son los ensayos alternativos de verificación in situ que poco a poco se están abriendo campo en el medio gracias a su simplicidad.

En Bolivia se tiene como referencia las normas:

ASTM C-39, establece el procedimiento de ensayo para la determinación de la resistencia a compresión del hormigón.

ASTM C-597, establece el procedimiento para la estimación de la resistencia a compresión de una estructura de hormigón, mediante la aplicación de la técnica de la velocidad del impulso ultrasónico.

ASTM C-42, establece el procedimiento para la extracción de núcleos cilíndricos de concreto obtenidos a partir de estructuras existentes. Este núcleo se falla a compresión para determinar la resistencia a compresión del hormigón de la estructura.

ASTM C-805, establece el procedimiento para evaluar la uniformidad del concreto en el lugar, para delinear variaciones en la calidad del concreto a lo largo de una estructura y para estimar la resistencia del hormigón en el lugar.

MÉTODOS

Se dosificó el hormigón H21, H23 y H25 siguiendo la metodología ACI.

Caracterización del agregado fino:

Muestreó los agregados, (ASTM C136).

Calculó el porcentaje de absorción, densidad real, y densidad neta de la arena, (ASTM C128).

Calculó el peso unitario, (ASTM C29).
Calculó el equivalente de arena, (ASTM D2419).

Caracterización del agregado grueso:

Muestreé los agregados.
Calculó el peso unitario suelto y compactado del agregado grueso, (ASTM C29).
Calculó el porcentaje de absorción, densidad real y densidad neta de la grava, (ASTM C127).
Calculó el desgaste por abrasión, (ASTM C131).
Determinó el peso específico del cemento hidráulico (ASTM C188).

Dosificación del hormigón:

Seleccionó el asentamiento.
Seleccionó el tamaño máximo del agregado grueso.
Estimación del contenido de agua de mezclado y aire incorporado.
Seleccionó la relación agua/cemento (a/c).
Calculó el contenido de cemento.
Estimación el contenido de agregado grueso.
Estimación el contenido de agregado fino.
Ajuste humedad de los agregados.
Ajuste la mezcla con pastones de prueba.

Elaboración de probetas con hormigón H21, H23 Y H25.

Preparó y mezcló el cemento, grava y agua, de acuerdo con la dosificación previamente calculada.
Controló el contenido de aire.
Controló la temperatura.
Vertió el hormigón en el molde.
Consolidó mediante envarillado.
Realizó el acabado.

Preparación y vaciado de losas de hormigón H21, H23 y H25

Limpié el material orgánico.
Excavó un metro cuadrado por veinte centímetros de profundidad, para hormigón H21, H23 y H25 (tres en total).
Vacío el hormigón de acuerdo con la característica resistente.

Realización de ensayos de verificación *In Situ*.

Realizó la extracción de núcleos, según especifica la normativa ASTM C 42.
Calculó Método de prueba estándar para el número de rebote de concreto endurecido ASTM C-805.
Calculó la velocidad de pulso a través del concreto, según lo especificado en la norma ASTM C 597 – 16.

Calibración de los equipos utilizados en ensayos no destructivos.

Calibró el equipo de ultrasonido según las características mecánicas del agregado y la relación agua cemento de la mezcla.

Calibración del esclerómetro según la resistencia del hormigón.

RESULTADOS

Para dosificar cada tipo de hormigón, primero se realizó la caracterización del agregado fino y grueso a utilizar en la mezcla. Los resultados se reportan en la tabla 1:

Tabla 1. Características del agregado fino y grueso

Peso específico, kg/m ³	2406	2469
Peso compactado y seco, kg/m ³	1554	1450
Contenido de humedad, %	4,16	6,16
Porcentaje de absorción, %	4,43	2,87
Módulo de finesa	2,81	--

Una vez realizada la caracterización de los agregados, se determinó el peso específico del cemento a utilizar en la mezcla, siendo este: 3124 kg/m³

Se realizó la dosificación para un hormigón H21, H23 y H25, siguiendo los 9 pasos que propone la metodología ACI. Las dosificaciones se indican en las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Dosificación hormigón H21, H23 y H25.

Materiales	H21	H23	H25
Cemento, Kg/m ³	298,51	363,64	384,62
Agua, Kg/m ³	227,80	172,42	172,38
Agregado grueso, Kg/m ³	929,68	952,84	952,84
Agregado fino, Kg/m ³	843,08	752,08	735,29

Tabla 3. Proporciones de la mezcla de hormigón H21, H23 y H25.

Hormigón	Cemento: fino: grueso	Agua/cemento
H21	1: 2,22: 2,76	a/c: 0,50
H23	1: 2,07: 2,62	a/c: 0,47
H25	1: 1,91: 2,48	a/c: 0,45

Se vació 15 probetas en simultáneo al vaciado de cada losa, para determinar su resistencia a compresión y garantizar que las losas hayan llegado a la resistencia característica prevista en la dosificación. Se obtuvo la resistencia para cada tipo de hormigón, como se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Resistencia caracterizada "f'ck" del hormigón H21, H23 y H25 en probetas cilíndricas.

Característica	H21	H23	H25
Desviación estándar "Ss"	27,24	13,05	11,27
Variación "V", %	11,0	5,0	4,0
Resistencia media "fm", kg/cm ²	248,05	255,12	262,97
Resistencia característica "f'ck", kg/cm ²	222,37	243,11	253,07

Para el ensayo de verificación *in situ* destructivo, se extrajo de cada losa experimental 3 núcleos a los 7 días, 3 núcleos a los 14 días y 3 núcleos a los 28 días, llegando a una suma de 9 núcleos para cada losa, haciendo un total de 27 núcleos en las tres losas. Los valores de resistencia a la compresión se indican en la tabla 5.

Tabla 5. Resistencia caracterizada "f'ck" del hormigón H21, H23 y H25 en núcleos extraídos.

Característica	H21	H23	H25
Desviación estándar "Ss".	30,34	36,38	42,39
Variación "V", %.	12,0	14,0	14,0
Resistencia media "fm", kg/cm ² .	243,18	264,16	292,41
Resistencia característica "f'ck", kg/cm ² .	217,41	231,51	256,27

COMPARACIÓN MEDIANTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGONES H21, H23 Y H25

Para el ensayo de verificación in situ no destructivo, mediante el martillo de Schmidt o esclerómetro, se tomaron para cada losa 3 lecturas a 7 días, 3 lecturas a 14 días y 3 lecturas a 28 días, sumando 9 lecturas para cada losa, haciendo un total de 27 lecturas en las tres losas. Los valores de resistencia a la compresión se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Resistencia a la compresión para 7, 14 y 28 días tomadas mediante el martillo de Schmidt

Días	Resistencia (kg/cm ²)		
	H21	H23	H25
7	158,46	146,72	178,55
7	153,54	159,23	179,87
7	161,11	172,29	171,17
14	192,8	206,00	204,67
14	183,88	216,14	214,94
14	225,25	231,81	213,38
28	240,00	224,50	253,68
28	232,79	248,62	255,51
28	240,79	241,86	243,43

Se tomaron tres lecturas de la velocidad de pulso ultrasónico del concreto en las losas experimentales a los 28 días, con el objetivo de medir la calidad del hormigón, los resultados se exhiben en la tabla 7.

Tabla 7. Velocidad de pulso ultrasónico en el hormigón H21, H23 y H25.

Hormigón	H21	H23	H25
V, m/s	3846	3926	3988
L, m	0,192	0,186	0,189
T x 10 ⁻⁵ , s	4,99	4,74	4,74
Calidad	Buena	Buena	Buena

Con los valores de resistencia a la compresión de núcleos extraídos de las losas experimentales y las lecturas de resistencia tomadas mediante el martillo de Schmidt a los 7, 14 y 28 días, se realizaron las curvas de correlación entre ambos grupos de resultados, y se determinaron los índices de correlación, según la dispersión que tuvieron los datos, como se muestran en las figuras 1, 2, y 3.

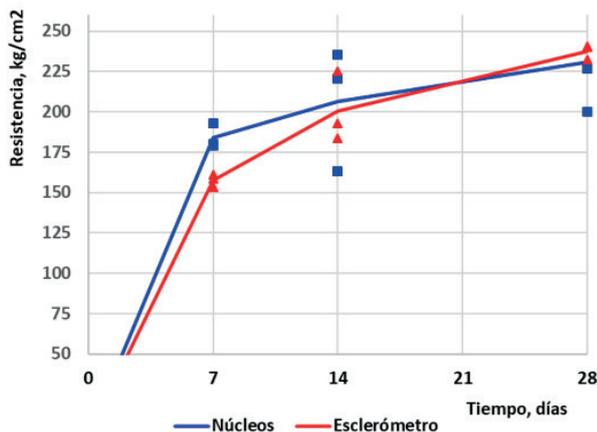


Figura 1. Curvas de correlación Núcleos - Esclerómetro, hormigón H21.

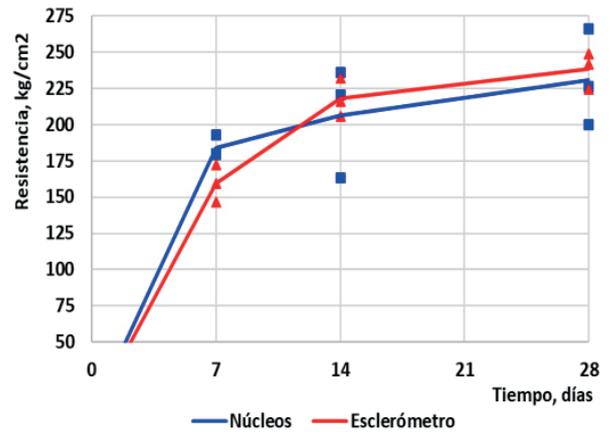


Figura 2. Curvas de correlación Núcleos - Esclerómetro, hormigón H23.

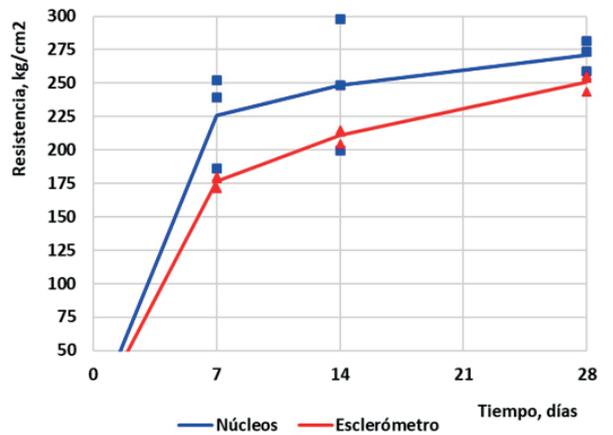


Figura 3. Curvas de correlación Núcleos - Esclerómetro, hormigón H25.

Con el valor de la resistencia media promedio a 28 días de ambos grupos de ensayos, se lograron determinar porcentajes de variación para cada dosificación, tabla 8, teniendo como parámetro base los valores obtenidos en el ensayo a compresión simple de núcleos extraídos en el hormigón endurecido.

Tabla 8. Coeficientes de calibración para hormigón H21, H23 y H25.

Hormigón	Ensayo	f _m , kg/cm ²	%	C
H21	Núcleo	243,18	5,06	1,051
	Esclerómetro	230,88		
H23	Núcleo	264,16	9,64	1,096
	Esclerómetro	238,69		
H25	Núcleo	292,41	15,17	1,152
	Esclerómetro	248,05		

Estos coeficientes sirven para corregir el valor de la resistencia a la compresión obtenido directamente de las tablas o ábacos que vienen de fábrica con el martillo de Schmidt. Así mismo, se pueden actualizar directamente los valores de la tabla o ábaco, como se sugiere en las tablas 9, 10 y 11

Tabla 9. Valores calibrados para dosificación H21.

Lectura	- 90	- 45	90	45	0
16	0	0	126	0	111
17	137	148	131	0	116
18	141	153	136	0	119
19	153	165	152	99	124
20	160	169	167	104	148
21	165	174	189	109	162
22	173	179	201	113	174
23	181	187	215	118	179
24	188	194	230	124	184
25	195	206	241	131	191
26	207	220	256	139	200
27	226	238	272	160	205
28	242	258	285	181	208
29	253	271	290	194	231
30	274	284	302	210	247
31	288	307	326	236	261
32	299	323	337	251	284
33	323	341	360	265	299
34	334	361	372	292	319
35	357	374	395	307	338
36	369	400	407	335	352
37	377	406	411	339	358
38	380	411	415	307	367
39	388	415	419	335	373

Tabla 10. Valores calibrados para dosificación H23.

Lectura	- 90	- 45	90	45	0
16	0	0	132	0	116
17	143	155	137	0	121
18	147	160	141	0	124
19	160	172	159	103	129
20	167	177	174	109	155
21	172	182	197	114	169
22	181	186	209	118	182
23	189	195	225	123	186
24	196	203	240	129	192
25	204	215	251	137	200
26	216	229	268	145	208
27	236	249	284	167	214
28	252	270	297	189	217
29	264	283	303	203	241
30	286	296	315	219	258
31	300	320	340	247	272
32	312	337	352	262	296
33	337	356	376	276	312
34	349	377	388	305	333
35	373	390	412	320	353
36	385	418	424	350	367
37	394	423	429	354	374
38	397	429	433	320	383
39	405	433	437	350	389

Tabla 11. Valores calibrados para dosificación H25.

Lectura	- 90	- 45	90	45	0
16	0	0	138	0	122
17	150	162	144	0	127
18	154	168	149	0	130
19	168	181	167	108	136
20	175	185	183	114	162
21	181	191	207	120	177
22	190	196	220	124	191
23	198	205	236	129	196
24	206	213	252	136	202
25	214	226	264	144	210
26	227	241	281	152	219
27	248	261	298	175	225
28	265	283	312	198	228
29	278	297	318	213	253
30	301	311	331	230	271
31	316	336	357	259	286
32	328	354	370	275	311
33	354	374	395	290	328
34	366	396	408	320	350
35	392	410	433	336	371
36	404	439	446	367	386
37	413	445	450	372	393
38	417	450	455	336	402
39	425	455	460	367	409

DISCUSIÓN

En las probetas que no se curaron, se evidenció un comportamiento anormal. La resistencia a compresión se elevaba considerablemente, cuando días previos al ensayo de rotura, se contaba con temperaturas elevadas en el ambiente y, la resistencia descendía drásticamente, cuando se tenían humedad ambiental alta.

El ensayo de ultrasonido permitió verificar la compacidad del hormigón en obra, siendo este un ensayo complementario al ensayo de número de rebote por ser superficial.

Tanto el ultrasonido como la esclerometría permitieron identificar las zonas de previsiblemente mejor y peor calidad y las de calidades intermedias. A partir de los ensayos no destructivos se pudieron extraer los testigos de forma que resultaron representativos.

A los 28 días, en cada losa, se realizó una lectura de la velocidad del pulso ultrasónico mediante el equipo de ultrasonido, buscando medir la compacidad del hormigón. Se obtuvieron velocidades de 3846 a 3988 m/s, velocidades que indican que la compacidad del hormigón está en relación con un hormigón de buena calidad.

El martillo de Schmidt o esclerómetro permitió determinar la resistencia a compresión del hormigón mediante el número de rebote en el concreto endurecido de manera confiable, previa calibración del equipo en laboratorio.

Los valores de resistencia obtenidos mediante el martillo de Schmidt sin previa calibración solo brindaron valores relativos de la dureza superficial.

Se determinaron índices de calibración para el hormigón H21, H23 y H25, mediante curvas de correlación, entre la resistencia a compresión de núcleos extraídos y lecturas del número de rebote esclerométrico.

Con los valores de la resistencia a compresión de los núcleos extraídos y las lecturas de resistencia tomadas con el martillo de Schmidt a los 7, 14 y 28 días, se realizaron curvas de correlación con la finalidad de encontrar la variación entre ambos grupos de valores de resistencia. Por último, se hallaron coeficientes de correlación que sirvieron para calibrar el esclerómetro, actualizando los valores de la tabla que viene de fábrica con el equipo para cada tipo de hormigón dosificado.

REFERENCIAS

CITA

- INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD. (2010). Hormigón Estructural. (1225001-1:2012). Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA).
- MESEGUER, A. G., & CABRÉ, F. M., ARROYO PORTERO, J. C. (2009). Jiménez Montoya Hormigón Armado. 15ta Edición. España.
- SÁNCHEZ, D.G. (1997). Tecnología y Propiedades, colección básica del concreto. 2da Edición. Colombia. Asociación Colombiana de Productos de Concreto.
- SOCIEDAD AMERICANA PARA PRUEBAS Y MATERIALES. (1998). Método de Prueba estándar para Obtención del Número de Rebote en el Hormigón endurecido. (ASTM C-805). ASTM Internacional, Estados Unidos.
- SOCIEDAD AMERICANA PARA PRUEBAS Y MATERIALES. (2009). Método de Prueba estándar para Velocidad de Pulso a través del hormigón. (ASTM C-597). ASTM Internacional, Estados Unidos.
- SOCIEDAD AMERICANA PARA PRUEBAS Y MATERIALES. (2010). Método de Prueba estándar para Resistencia a la Compresión de probetas cilíndricas de hormigón. (ASTM C-39). ASTM Internacional, Estados Unidos.
- SOCIEDAD AMERICANA PARA PRUEBAS Y MATERIALES. (2018). Método de Prueba estándar para Obtención de prueba de núcleos perforados y vigas aserradas de hormigón. (ASTM C42). ASTM Internacional, Estados Unidos.
- SOLÍS CARCAÑO, R. G., & MORENO, E. I., & CASTILLO PAK, W. R. (2004). México. Predicción de la resistencia del concreto con base a la velocidad de pulso ultrasónico y un índice de calidad de los agregados.

