

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y ENSAYOS PARA AGREGADOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

Procedimiento de selección de muestras de agregados gruesos y finos para ensayos

Referencias normativas

Las normas que se relacionan a continuación hacen una descripción de las condiciones y los métodos para la selección de muestras para el análisis de los agregados como roca, escoria, grava, gravilla, arena, para estudiar las fuentes potenciales de suministros, el control del producto de las fuentes de suministros, el control de las operaciones en el sitio de construcción y la aceptación o el rechazo de materiales.

- *ASTM D75/D75M Standard practice for sampling aggregate.*
- *INV E-201 Muestreo de agregados para construcción de carreteras.*
- *NTC 129 Ingeniería civil y arquitectura. Práctica para la toma de muestras de agregados.*

Aspectos generales

El muestreo de los agregados es muy importante para los ensayos a realizar, pues las muestras deben ser representativas de los materiales, de tal manera que se

pueda tener confiabilidad en los resultados de los ensayos. Esto implica hacer una correcta toma de muestras, tanto en el proceso de recolección como en la cantidad de las mismas.

Objetivos

- Realizar un muestreo representativo de los materiales agregados para su preparación para ensayos.

Elementos para el procedimiento

- Pala.
- Empaque que evite pérdidas o contaminación de la muestra.

Elementos personales

- Botas de seguridad.
- Guantes de seguridad.
- Gafas de seguridad.

Consideraciones

En lo posible, se debe procurar realizar un muestreo de los agregados directamente desde bandas transportadoras o pilas del material, componiendo el tamaño de la misma a partir de tres porciones seleccionadas aleatoriamente en el caso de un muestreo a partir de la banda transportadora, o componiendo la muestra con porciones del tercio superior, medio e inferior de una pila en el caso de muestreo a partir de pilas (ver figura 3.1).

Figura 3.1 Procesamiento y apilado de agregados.



Cuando el muestreo se realice a partir de una unidad de transporte, por ejemplo, un camión, se debe componer una muestra desde puntos donde se considere que pueden dar estimativos de las características del material. El número de muestras debe ser el suficiente como para dar confiabilidad del muestreo. En la tabla 3.1 se muestran las masas de muestreo recomendadas.

Tabla 3.1 Masa mínima de ensayo.

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Masa de la muestra (Kg)
Agregado fino	
2,36	10
4,75	10
Agregado grueso	
9,5	10
12,5	15
19,0	25
25,0	50
37,5	75
50,0	100
63	125
75	150
90	175

Fuente: Adaptado de Icontec NTC 129, página 4, (1995).

Procedimiento

- Localizar puntos que a simple vista sean representativos del material.
- Tomar una cantidad suficiente para una posterior reducción del material y ensayos.
- Empacar las muestras del material procurando evitar pérdidas o alteraciones en él.

Procedimiento de reducción de muestras de agregados gruesos y finos para ensayos

Referencia normativa

Las normas acá mencionadas describen los procedimientos adecuados para reducir el tamaño de las muestras de agregados traídas del terreno, al tamaño apropiado para efectuar los ensayos necesarios.

- *ASTM C702/C702M Standard practice for reducing samples of aggregate to testing size.*
- *INV E-202 Reducción de muestras de agregados por cuarteo.*
- *NTC 3674 Ingeniería civil y arquitectura. Práctica para la reducción del tamaño de las muestras de agregados, tomadas en campo.*

Aspectos generales

La reducción de la muestra permite obtener una cantidad suficiente para los procedimientos de ensayo a los agregados de manera representativa. Existen diversos métodos para la reducción de las muestras, tanto utilizando equipos mecánicos como procedimientos manuales; el método considerado en este libro para la reducción de muestras será el de cuarteo.

Objetivos

- Reducir la muestra a una cantidad adecuada de los materiales agregados para el ensayo a realizar utilizando el método de cuarteo.

Elementos para el procedimiento

- Superficie de trabajo dura, limpia y horizontal.
- Pala o palustre.
- Recipientes para muestras.

Elementos personales

- Bata de laboratorio.

Consideraciones

Es recomendable realizar el procedimiento de cuarteo sobre una superficie limpia y horizontal, que no interactúe con el material. Además, se debe evitar la pérdida de material y adición de materiales extraños a la muestra. En lo posible realizar el procedimiento con las muestras secas (ver figura 3.2).

Figura 3.2 Cuarteo de muestras.



Procedimiento

- Colocar la muestra a cuartear sobre la superficie horizontal.
- Mezclar el material volcando la muestra tres veces, con ayuda de la pala o palustre.
- Formar una pila cónica con el material.
- Alisar el material presionando uniformemente por el vértice hasta obtener una altura y diámetro constante (el diámetro deberá ser de cuatro a ocho veces el espesor).
- Dividir la muestra en cuatro cuartos aproximadamente iguales.
- Seleccionar dos cuartos opuestos diagonales y retirarlos con ayuda de la pala o palustre.
- Repetir el proceso hasta obtener la cantidad deseada para el ensayo a realizar y depositarla en el recipiente para muestras, procurando no perder material.

Procedimiento de análisis por tamizado para agregados gruesos y finos

Referencias normativas

A continuación, se hace una relación de las normas que definen los ensayos para determinar la distribución de las partículas de los agregados finos y gruesos por medio de tamizaje; incluso, se describen los procesos para el diseño y construcción de tamices para estos ensayos.

- *ASTM C136/136M Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregate.*
- *INV E-213 Análisis granulométrico de agregados grueso y fino.*
- *NTC 32 Tejido de alambre y tamices para propósitos de ensayo.*
- *NTC 77 Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.*

Aspectos generales

El análisis por tamizado permite conocer la distribución física, por tamaños, de las partículas que componen tanto un agregado fino como uno grueso, conocer su gradación, usada para correlacionar e identificar requisitos específicos de aplicación, suministrando información necesaria para el control de producción de materiales y mezclas hechas a partir de los agregados.

Objetivos

- Realizar un proceso de tamizado de materiales agregados para su análisis granulométrico.
- Determinar la distribución granulométrica de los materiales agregados.
- Determinar el módulo de finura del agregado fino.
- Determinar el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Elementos para el procedimiento

- Balanzas.
- Tamices NTC 32.
- Horno.
- Recipientes para muestras.

Elementos personales

- Bata de laboratorio.

Consideraciones

Es recomendable realizar un proceso previo de secado a las muestras de ensayo, especialmente en los agregados finos. Las masas mínimas de ensayo secas se muestran en la tabla 3.2.

Los tamices a utilizar en el ensayo corresponden a los definidos en la NTC 174 (tabla 3.2), entendiendo las características físicas de agregado fino y grueso, permitiendo relacionar los resultados con las especificaciones granulométricas de agregados para concreto.

Tabla 3.2 Masa mínima de ensayo.

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Masa de la muestra (Kg)
Agregado fino	
N/A	0,3
Agregado grueso	
9,50	1,0
12,5	2,0
19,0	5,0
25,0	10,0
37,5	15,0
50,0	20,0
63,0	35,0
75,0	60,0
90,0	100,0
100	150,0
125	300,0

Fuente: Adaptado de Icontec NTC 174.

El porcentaje retenido en cada tamiz se calcula con la ecuación 3.0.

$$\% \text{ retenido tamiz} = \frac{M_i}{M_o} \quad (3.0)$$

Donde:

M_i : masa retenida tamiz.

M_o : masa total de ensayo.

Este libro contempla un tamizado en seco (figura 3.3), por lo que se recomienda pesar la masa en el fondo tamiz.

Figura 3.3 Proceso de tamizado.



Tabla 3.3 Tamices de ensayo.

Tamiz NTC 32	Agregado grueso	Agregado fino
0,15 mm		X
0,30 mm		X
0,60 mm		X
1,18 mm	X	X
2,36 mm	X	X
4,75 mm	X	X
9,5 mm	X	X
12,5 mm	X	
19,0 mm	X	
25,0 mm	X	
37,5 mm	X	
50,0 mm	X	
63,0 mm	X	
75,0 mm	X	
90,0 mm	X	
100 mm	X	

Fuente: Icontec NTC 174.

El módulo de finura se calcula como la suma de los porcentajes retenidos acumulados desde el tamiz 0,15 mm en adelante, incrementando la tasa de 2 a 1, dividido por 100.

El tamaño máximo se define como la abertura del menor tamiz por el que pasa el 100% de la muestra y el tamaño nominal máximo es definido como el siguiente tamiz que le sigue en abertura a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más.

Procedimiento

- Secar una muestra del material.
- Reducir el material mediante cuarteo a una masa de ensayo igual o superior a la recomendada.
- Pesar la masa inicial de ensayo.
- Pasar el material por los tamices de ensayo en orden de abertura de mayor a menor, procurando que el material más fino que el tamaño de la abertura de cada tamiz, pase al tamiz con abertura inmediatamente menor, sin ser forzado.
- Pesar las cantidades de material retenidas en cada tamiz y en el fondo, procurando evitar pérdidas en su manejo.
- Realizar los cálculos de porcentajes retenidos, retenidos acumulados y pasa tamiz.
- Calcular el módulo de finura (agregado fino).
- Determinar el tamaño nominal máximo (agregado grueso).

Resumen de ensayo

Ensayo de tamizado de los agregados NTC 77					
Laboratorio:			Fecha:		
Proyecto:			Material:		
Elaboró:			Muestra n.º:		
Peso de la muestra:					
Tamiz NTC 32 (mm)	Peso retenido (g)	% retenido tamiz	% retenido tamiz acumulado	% que pasa tamiz	
63					
50					
37,5					
25					
19					
12,5					
9,5					
4,75					
2,36					
Fondo			TNM		
Total					
Observaciones					

En las siguientes tablas se pueden consignar los datos del ensayo y las observaciones que surjan del desarrollo del mismo.

Ensayo de tamizado de los agregados NTC 77				
Laboratorio:			Fecha:	
Proyecto:			Material:	
Elaboró:			Muestra n.º:	
Peso de la muestra:				
Tamiz NTC 32 (mm)	Peso retenido (g)	% retenido tamiz	% retenido tamiz acumulado	% que pasa tamiz
9,5				
4,75				
2,36				
1,18				
0,6				
0,3				
0,15				
Fondo			TNM	
Total				
Observaciones				

Procedimiento para el cálculo de densidad y absorción de los agregados finos

Referencias normativas

Las normas que se mencionan a continuación hacen referencia a los métodos de ensayos a los que se recurre para determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino, densidad relativa y absorción de los agregados finos.

- *ASTM C128 Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of fine aggregate.*
- *INV E-222 Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino.*
- *NTC 237 Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.*

Aspectos generales

La densidad hace referencia a la masa por unidad de volumen de un material. El ensayo de densidad y absorción del agregado fino permite conocer tres tipos de densidades: aparente, nominal y saturada, y superficialmente seca.

El método ACI considera la densidad aparente en condición seca para sus procedimientos de diseño. Esta característica por lo general es tenida en cuenta para el cálculo del volumen ocupado por los agregados en la mezcla de concreto, para dosificación con base en volumen absoluto.

Por otra parte, la absorción hace referencia al cambio en masa de los agregados cuando los poros saturables presentes en ellos han sido llenados con agua, comparados con una condición seca. En este libro solo se considera la densidad aparente seca del agregado fino, necesaria para el método de diseño de mezclas ACI.

Objetivos

- Determinar la densidad aparente del agregado fino.
- Determinar la absorción del agregado fino.

Elementos para el procedimiento

- Balanzas.
- Picnómetro.
- Cono de humedad superficial y pisón.
- Horno.
- Recipientes para muestras.

Consideraciones

Es recomendable realizar un proceso previo de sumergimiento de la muestra en agua por un periodo tal, que se saturen la totalidad de los poros, debido a que el ensayo requiere inicialmente una masa de agregado en condición saturada y

superficialmente seca, por lo que es necesario la verificación de dicha condición con el cono de humedad superficial.

Al obtener el material en condición saturado y superficialmente seco se procede a tomar una masa de mínimo 500 g, posteriormente, utilizando los elementos de ensayo (figura 3.4) se calcula la densidad aparente y absorción del material mediante las ecuaciones 3.1 y 3.2.

Figura 3.4 Elementos de ensayo (picnómetro).



$$D_A = 997.5 * \frac{A}{B + S - C} \quad (3.1)$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{S - A}{A} * 100\% \quad (3.2)$$

Donde:

A: masa en el aire de la muestra seca al horno (g).

B: masa del picnómetro aforado con agua (g).

C: masa del picnómetro aforado con la muestra y agua (g).

D_A: densidad aparente del agregado fino (Kg/m³).

S: masa de la muestra saturada y superficialmente seca (g).

Ensayo de cono de humedad superficial

La prueba o ensayo mediante el cono de humedad superficial (figura 3.5) permite verificar si el material de ensayo ha alcanzado la condición saturada y superficialmente seca. El procedimiento se describe a continuación:

Figura 3.5 Material con humedad superficial.

- Realizar un secado previo del material sumergido en agua, decantando el agua del recipiente.
- Extender la muestra del material en una superficie plana, no absorbente, exponiéndola a una corriente de aire tibio y mezclándola frecuentemente para un secado homogéneo del agua superficial.
- Colocar una porción del material suelto en el cono, de manera que rebose el molde, sosteniéndolo firmemente.
- Apisonar ligeramente el agregado dentro del molde con 25 caídas leves del pisón, procurando que cada caída del mismo respecto a la superficie del material sea de 5 mm durante el procedimiento.
- Verificar la humedad superficial de material, retirando el material que esté alrededor de la base del molde y levantándolo verticalmente, si aún hay humedad superficial en la muestra, esta conservará la forma del molde, por lo que se deberá secar la muestra y repetir el ensayo hasta que, al retirar el molde el material se asiente levemente.

Procedimiento

- Pesar el picnómetro vacío y lleno de agua hasta la marca de graduación.
- Obtener mínimo 500 g de material saturado y superficialmente seco (previamente saturado), verificando la condición mediante el cono de humedad superficial.
- Introducir la muestra del material al picnómetro con la ayuda de un embudo, evitando pérdida del material.
- Llenar de agua, hasta la marca de graduación, el picnómetro con la muestra, procurando eliminar las burbujas de agua mediante el agitado leve del recipiente.

- Pesar el picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua.
- Vaciar la totalidad del picnómetro en un recipiente y poner la muestra al horno hasta su secado.
- Pesar la muestra seca del material.
- Calcular la densidad aparente y absorción del material.

Resumen de ensayo

En las siguientes tablas se pueden consignar los datos del ensayo como información del laboratorio, material analizado, identificación de la muestra; incluso, se pueden consignar observaciones que surjan del desarrollo de la prueba.

Ensayo de densidad y absorción NTC 237	
Laboratorio:	Fecha:
Proyecto:	Material:
Elaboró:	Muestra n.º:
Muestra de agregado	
Masa del picnómetro con agua (g)	
Masa de la muestra saturada y sup. seca (g)	
Masa del picnómetro con muestra y agua (g)	
Masa de la muestra seca (g)	
Densidad aparente (Kg/m ³)	
% de absorción	
Observaciones	

Procedimiento para el cálculo de densidad y absorción de los agregados gruesos

Referencias normativas

Las normas que se enuncian en este apartado describen los procedimientos para estimar la gravedad específica *bulk*, *bulk* saturada y superficialmente seca y aparente, así como la absorción, después que los agregados de tamiz n.º han estado sumergidos en agua durante 15 horas.

- *ASTM C127 Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate.*
- *INV E-223 Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso.*
- *NTC 176 Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso.*

Aspectos generales

La densidad hace referencia a la masa por unidad de volumen de un material. El ensayo de densidad y absorción del agregado fino permite conocer tres tipos de densidades: aparente, nominal y saturada y superficialmente seca.

El método ACI considera la densidad aparente en condición seca para sus procedimientos de diseño. Esta característica por lo general es tenida en cuenta para el cálculo del volumen ocupado por los agregados en la mezcla de concreto, para dosificación con base en volumen absoluto.

Por otra parte, la absorción hace referencia al cambio en masa de los agregados cuando los poros saturables presentes en ellos han sido llenados con agua, comparados con una condición seca.

En este libro solo se considera la densidad aparente seca del agregado grueso, necesaria para el método de diseño de mezclas ACI.

Objetivos

- Determinar la densidad aparente del agregado grueso.
- Determinar la absorción del agregado grueso.

Elementos para el procedimiento

- Balanzas.
- Canasta metálica.
- Paño absorbente.
- Horno.
- Recipientes para muestras.

Consideraciones

Es recomendable realizar un proceso previo de sumergimiento de la muestra en agua por un periodo tal, que se saturen la totalidad de los poros, debido a que el ensayo requiere inicialmente una masa de agregado en condición saturada y superficialmente seca.

Al obtener el material en condición saturado y superficialmente seco, se procede a componer una masa de ensayo de acuerdo a la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Masa mínima de ensayo.

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Masa de la muestra (Kg)
12,5 o menor	2,0
19,0	3,0
25,0	4,0
37,5	5,0
50,0	8,0
63,0	12,0
75,0	18,0
90,0	25,0
100	40,0
112	50,0
125	75,0
150	125,0

Fuente: Icontec NTC 176.

Posteriormente, utilizando los elementos de ensayo (figura 3.6) se calcula la densidad aparente y absorción del material mediante las ecuaciones 3.3 y 3.4.

$$D_A = 997.5x \frac{A}{B - C} \quad (3.3)$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{B - A}{A} x 100\% \quad (3.4)$$

Donde:

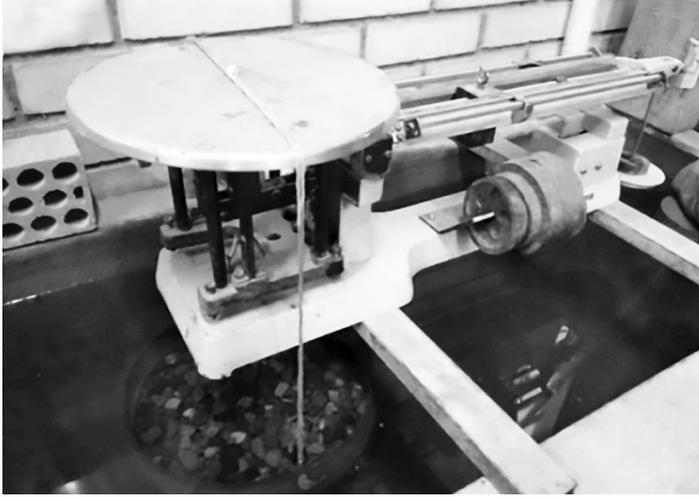
A: masa en el aire de la muestra seca al horno (g).

B: masa en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca (g).

C : masa en el agua de la muestra(g).

D_A : densidad aparente del agregado grueso (Kg/m^3).

Figura 3.6 Pesaje en agua.



Procedimiento

- Secar manualmente con ayuda del paño absorbente el material (partícula a partícula), para la remoción de la humedad superficial.
- Obtener una masa de ensayo del material saturado y superficialmente seco (previamente saturado).
- Pesar la muestra saturada y superficialmente seca al aire.
- Pesar la muestra en agua con ayuda de la canasta metálica.
- Colocar la muestra en un recipiente al horno hasta su secado.
- Pesar la muestra seca del material.
- Calcular la densidad aparente y absorción del material.

Ensayo de densidad y absorción NTC 176	
Laboratorio:	Fecha:
Proyecto:	Material:
Elaboró:	Muestra n.º:
Muestra de agregado	
Masa de la muestra saturada y sup. seca (g)	
Masa de la muestra en agua (g)	
Masa de la muestra seca (g)	
Densidad aparente (Kg/m ³)	
% de absorción	
Observaciones	

Resumen de ensayo

En la siguiente ficha se pueden consignar los datos del ensayo como información del laboratorio, material analizado, identificación de la muestra; incluso, se pueden consignar observaciones que surjan del desarrollo de la prueba.

Procedimiento para el cálculo de masa unitaria de los agregados

Referencias normativas

Las normas aquí mencionadas describen el ensayo para determinar la densidad en masa de los agregados en condición compactada o suelta, y el cálculo de los huecos en agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos, basándose en una misma determinación. Esta práctica es aplicable a aquellos agregados que no excedan de 125 mm. como tamaño máximo nominal.

- *ASTM. C29/C29M Standard test method for bulk density (“unit weight”) and voids in aggregate.*
- *INV E-217 Densidad bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto.*
- *NTC 92 Ingeniería civil y arquitectura. determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.*

Aspectos generales

La masa unitaria hace referencia a la relación peso entre un volumen determinado, calculada para un material, que varía de acuerdo a si este se encuentra suelto o con algún grado de compactación, por lo que puede ser usada para determinar la cantidad en volumen para compra y dosificación.

La norma NTC y ASTM contemplan el análisis de los materiales secos, el cual es utilizado en el método de diseño ACI.

Objetivos

- Determinar la masa unitaria de los agregados.

Elementos para el procedimiento

- Balanzas.
- Molde metálico.
- Varilla de apisonamiento punta redonda.
- Pala o cucharón.

Consideraciones

El material de ensayo debe haber sido previamente secado en horno hasta obtener una masa constante. Por otra parte, para garantizar la obtención de datos confiables respecto al material, se recomienda que el molde de ensayo (ver figura 3.7) debe tener una altura entre el 80 y 150% del diámetro, a su vez debe tener una capacidad no menor al 95% de los valores descritos en la tabla 3.5.

Figura 3.7 Molde de ensayo.



Tabla 3.5 Capacidad de los moldes.

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Capacidad del molde (l)
12,5 o menor	2,8
25,0	9,3
37,5	14,0
75,0	28,0
112	70,0
150	100,0

Fuente: Icontec NTC 92.

Para la determinación de la masa unitaria compactada del material existen dos métodos, el de apisonamiento para agregados con tamaños máximos nominales no mayores a 37,5 mm, y el de golpeteo para mayores a 37,5 mm e inferiores a 150 mm. El método de paleo se utiliza para la determinación de la masa unitaria suelta de los agregados. En cualquiera de los casos, el cálculo de las masas unitarias se realiza mediante la ecuación 3.5.

$$M_{A-G-P} = \frac{G-T}{V} \quad (3.5)$$

Donde:

G : masa del agregado más molde (kg).

M : masa unitaria del agregado .

T : masa del molde (kg).

V : volumen del molde .

Método de apisonamiento

- Llenar una tercera parte del molde con el material, nivelando la superficie con los dedos.
- Apisonar la capa mediante 25 golpes con la varilla de apisonamiento, de manera vigorosa, distribuidos uniformemente en la superficie.
- Repetir el proceso con la segunda y tercera capa hasta llenar el molde.
- Enrasar la superficie con los dedos o con la plantilla recta, de tal manera que los vacíos sobre la superficie puedan ser llenados con el material que sobresale sobre la misma.

Método de paleo

- Llenar completamente el molde con el material.
- Enrasar la superficie con los dedos o con la plantilla recta, de tal manera que los vacíos sobre la superficie puedan ser llenados con el material que sobresale sobre la misma.

Procedimiento

- Pesar el molde vacío.
- Llenar el molde con el material de acuerdo al método seleccionado.
- Pesar el molde con la muestra.
- Calcular la masa unitaria suelta o compactada según lo requerido.

Ensayo de masa unitaria NTC 92	
Laboratorio:	Fecha:
Proyecto:	Material:
Elaboró:	Muestra n.º:
Muestra de agregado	
Masa de la muestra saturada y sup. seca (g)	
Masa de la muestra en agua (g)	
Masa de la muestra seca (g)	
Densidad aparente (kg/m ³)	
% de absorción	
Observaciones	

Resumen de ensayo

En el siguiente formato se pueden consignar los datos del ensayo como información del laboratorio, material analizado, identificación de la muestra; incluso, se pueden consignar observaciones que surjan del desarrollo de la prueba.