



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**“RELLENO FLUIDO ECOLÓGICO SUSTENTABLE DERIVADO DEL
CONCRETO HIDRÁULICO RETORNADO A PLANTA
(CONSTITUYENTE FINO) COMBINADO CON ÁRIDOS FINOS
MANUFACTURADOS, (RFES)”.**

PARA OPTAR AL GRADO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Br. Hector Antonio Arriola Guerrero.

Br. Jose Angel Marroquín Argueta.

Br. Jaime Salvador Mendez Vasquez.

SANTA TECLA, NOVIEMBRE DE 2025



AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

ING. ROSENDO MAURICIO SERMEÑO PALACIOS
RECTOR

DR. FRANCISCO ALFREDO CARRILLO LAREYNAGA
VICE-RECTOR

ING. ROOSELVET ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL

LIC. CARLOS ALBERTO COCA MUÑOZ
FISCAL

ING. MAURICIO ANTONIO AGUIRRE ORELLANA
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ING. MAURICIO ANTONIO AGUIRRE ORELLANA
DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

SANTA TECLA, NOVIEMBRE DE 2025



ASESOR

MSc. Ing. Luis Alfredo Alvarenga Tejada.

JURADO EVALUADOR

Ing. Antonio Estrada Hernández.

Ing. Miguel Angel Rubio Franco.

Ing. Mauricio Antonio Aguirre Orellana.

SANTA TECLA, NOVIEMBRE DE 2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

ACTA DE CALIFICACIÓN DE
DEFENSA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

No. TRES MIL QUINIENTOS SESENTA Y NUEVE

A las diecisiete horas del viernes veintiuno de noviembre de dos mil veinticinco. Reunidos los Miembros del Tribunal Examinador del Trabajo de Graduación presentado por HECTOR ANTONIO ARRIOLA GUERRERO en el salón de sesiones de la UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA. Se procedió:

PRIMERO: Que habiendo analizado el Trabajo de Graduación titulado:

RELLENO FLUIDO ECOLÓGICO SUSTENTABLE DERIVADO DEL CONCRETO HIDRÁULICO RETORNADO A PLANTA (CONSTITUYENTE FINO) COMBINADO CON ARIDOS FINOS MANUFACTURADOS, (RFES).

Se dio por aprobada, la parte escrita.

SEGUNDO: Que, con base a dicha aprobación de la parte escrita, se procedió a instalar la respectiva defensa oral del trabajo.

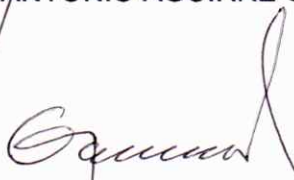
De conformidad a los resultados en dicha defensa, este Tribunal Examinador acuerda dar por APROBADA, con una calificación de OCHO PUNTO OCHO (8.8), el Trabajo de Graduación presentado por el alumno arriba detallado obteniendo a partir de esta fecha su calidad de: INGENIERO CIVIL

No habiendo más que hacer constar, damos por terminada el acta que firmamos.


ING. ANTONIO ESTRADA HERNANDEZ


ING. MIGUEL ANGEL RUBIO FRANCO


ING. MAURICIO ANTONIO AGUIRRE ORELLANA


ING. ROOSELVET ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL



UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

ACTA DE CALIFICACIÓN DE
DEFENSA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

No. TRES MIL QUINIENTOS SESENTA Y OCHO

A las diecisiete horas del viernes veintiuno de noviembre de dos mil veinticinco. Reunidos los Miembros del Tribunal Examinador del Trabajo de Graduación presentado por JOSE ANGEL MARROQUIN ARGUETA en el salón de sesiones de la UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA. Se procedió:

PRIMERO: Que habiendo analizado el Trabajo de Graduación titulado:

RELLENO FLUIDO ECOLÓGICO SUSTENTABLE DERIVADO DEL CONCRETO HIDRÁULICO RETORNADO A PLANTA (CONSTITUYENTE FINO) COMBINADO CON ARIDOS FINOS MANUFACTURADOS, (RFES).

Se dio por aprobada, la parte escrita.

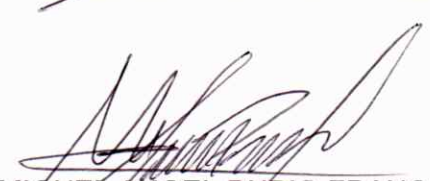
SEGUNDO: Que, con base a dicha aprobación de la parte escrita, se procedió a instalar la respectiva defensa oral del trabajo.

De conformidad a los resultados en dicha defensa, este Tribunal Examinador acuerda dar por APROBADA, con una calificación de SIETE PUNTO TRES (7.3), el Trabajo de Graduación presentado por el alumno arriba detallado obteniendo a partir de esta fecha su calidad de: INGENIERO CIVIL

No habiendo más que hacer constar, damos por terminada el acta que firmamos.



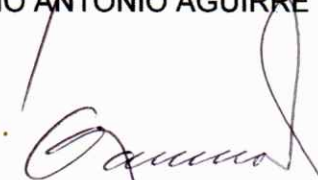
ING. ANTONIO ESTRADA HERNANDEZ



ING. MIGUEL ÁNGEL RUBIO FRANCO



ING. MAURICIO ANTONIO AGUIRRE ORELLANA



ING. ROOSELVE T ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL



UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

ACTA DE CALIFICACIÓN DE
DEFENSA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

No. TRES MIL QUINIENTOS SETENTA

A las diecisiete horas del viernes veintiuno de noviembre de dos mil veinticinco. Reunidos los Miembros del Tribunal Examinador del Trabajo de Graduación presentado por JAIME SALVADOR MENDEZ VASQUEZ en el salón de sesiones de la UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA. Se procedió:

PRIMERO: Que habiendo analizado el Trabajo de Graduación titulado:

**RELLENO FLUIDO ECOLÓGICO SUSTENTABLE DERIVADO DEL CONCRETO
HIDRÁULICO RETORNADO A PLANTA (CONSTITUYENTE FINO) COMBINADO
CON ARIDOS FINOS MANUFACTURADOS, (RFES).**

Se dio por aprobada, la parte escrita.

SEGUNDO: Que, con base a dicha aprobación de la parte escrita, se procedió a instalar la respectiva defensa oral del trabajo.

De conformidad a los resultados en dicha defensa, este Tribunal Examinador acuerda dar por APROBADA, con una calificación de *SIETE PUNTO OCHO (7.8)*, el Trabajo de Graduación presentado por el alumno arriba detallado obteniendo a partir de esta fecha su calidad de: INGENIERO CIVIL

No habiendo más que hacer constar, damos por terminada el acta que firmamos.



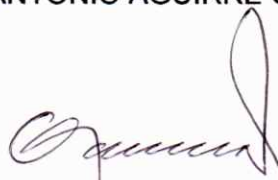
ING. ANTONIO ESTRADA HERNANDEZ



ING. MIGUEL ANGEL RUBIO FRANCO



ING. MAURICIO ANTONIO AGUIRRE ORELLANA



ING. ROOSELVET ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL



INDICE GENERAL

INTRODUCCION.....	i
CAPITULO I: 1	
GENERALIDADES.....	1
CAPITULO I: GENERALIDADES.....	2
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	2
1.1 Título Descriptivo del estudio o investigación.	2
1.2 Antecedentes y/o Generalidades del Problema.....	2
1.3 Descripción del Problema.	5
1.4 Formulación del Problema.	6
1.5 Importancia de la Investigación.....	6
1.6 Justificación.	6
1.7 Alcances del proyecto.....	7
1.8 Limitantes.....	9
1.9 Delimitación del problema.....	10
2. OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo General.....	11
2.2 Objetivos Específicos.	11
3. MARCO DE REFERENCIA.	12
3.1 Fundamentos socioeconómicos.....	12
3.2 Fundamentos conceptuales y teóricos.....	12
3.3 Fundamentos normativos, jurídicos, medioambientales e históricos.	14
CAPITULO II:	18
MARCO CONCEPTUAL	18
CAPITULO II: MARCO CONCEPTUAL.....	19

2.1 REFERENCIA MRBC ACI 229R-99, MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (CARACTERÍSTICAS, PROPIEDADES, APLICACIÓN, MEZCLADO Y TRANSPORTE, CONTROL DE CALIDAD).	19
2.1.1. HISTORIA DE LOS MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (MRBC).	19
2.1.2. APLICACIONES.	21
2.1.3. MATERIALES.	27
2.2 PROPIEDADES.	29
2.2.1 PROPIEDADES EN ESTADO PLASTICO.	30
2.2.2 PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO.	33
2.2.3 VENTAJAS DEL RELLENO FLUIDO.	36
2.3 MEZCLADO, TRANSPORTE Y APLICACION.	38
2.4 CONTROL DE CALIDAD.	40
2.5 CONSISTENCIA.	41
2.6 PROCESO DE ELABORACION Y GENERACION DE RESIDUOS DE CONCRETO.	42
2.6.1 PRODUCCION DE CONCRETO Y SU IMPORTANCIA MEDIOAMBIENTAL.	42
2.7 RESUMEN DE DESECHOS SOLIDOS.	47
2.8 IMPACTO AMBIENTAL Y BENEFICIOS AL MEDIO AMBIENTE CON LA UTILIZACION DE LOS RESIDUOS DE CONCRETO.	50
2.9 RESUMEN DE DESECHOS SOLIDOS.	55
2.10 RECICLADO DE CONCRETO.	57
2.11 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS RECICLADOS.	59
2.11.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION.	59
2.11.2 EQUIVALENCIAS DEL METODO AASHTO.	60

2.11.3	AGREGADOS RECICLADOS.	60
CAPITULO III:.....		62
INVESTIGACION DE CAMPO.		62
CAPITULO III: INVESTIGACION DE CAMPO.		63
3.1	REALIZACION DE ENSAYOS.	63
3.1.1	PROCEDENCIA DE LA MUESTRA.	63
3.1.2	PRACTICA ESTANDAR PARA MUESTREO DE AGREGADOS ASTM D-75. 67	
3.1.3	PRACTICA ESTANDAR PARA REDUCCION DE LAS MUESTRAS DE AGREGADOS A TAMAÑOS DE PRUEBA ASTM C-702.	70
3.2	ENSAYOS PARA EL DISEÑO DEL RELLENO FLUIDO ECOLOGICO SUSTENTABLE (RFES).	73
3.2.1	METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA ANALISIS POR TAMIZADO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS ASTM C-136.	73
3.2.2	METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA N° 200 (75MM) EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO ASTM C-117. .	82
3.2.3	METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) Y LA ABSORCION DE AGREGADOS FINOS ASTM C- 128. 85	
3.2.4	METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA DETERMINAR DENSIDAD APARENTE (PESO UNITARIO), E INDICE DE VACIOS EN LOS AGREGADOS ASTM C-29.	92
3.2.5	METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL DEL AGREGADO POR SECADO ASTM C-566.	98
3.2.6	MUESTREO EN UNA MEZCLA FRESCA DE MATERIAL DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA(MRBC) ASTM D-5971.	101
3.2.7	CONSISTENCIA DE FLUJO EN MATERIAL DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (MRBC) ASTM D-6103.	103

3.2.8	METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA TEMPERATURA DEL CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND RECIEN MEZCLADO ASTM C-1064. ...	107
3.2.9	MÉTODO ESTÁNDAR PARA PESO UNITARIO, RENDIMIENTO, Y CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO (MÉTODO GRAVIMÉTRICO) ASTM C-138.	109
3.2.10	MÉTODO ESTÁNDAR PARA TIEMPO DE FRAGUADO POR RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MEZCLAS. DE CONCRETO (MEDIANTE UN PENETROMETRO DE BOLSILLO, AGUJA DE 1/20" DE DIÁMETRO DE PENETRACIÓN) ASTM C-403.	113
3.2.11	PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA ELABORACIÓN Y CURADO EN EL LABORATORIO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO PARA ENSAYO ASTM C-192.	116
3.2.12	PREPARACIÓN Y ENSAYO DE CILINDROS DE MATERIAL DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (MRBC) ASTM D-4832.	119
3.2.13	ESPECIFICACIÓN ESTÁNDAR PARA MOLDES PARA ENCOFRADO VERTICAL DE CILINDROS DE CONCRETO ASTM C-470.	122
3.2.14	MÉTODO ENSAYO ESTÁNDAR PARA ESFUERZO DE COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE CILINDROS DE CONCRETO ASTM C-39.	125
3.2.15	PROPORCIONAMIENTO, SEGUIMIENTO PARA EL TRANSPORTE, ENTREGA Y EVALUACION DE RFES.	129
CAPITULO IV:		133
ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.		133
CAPITULO IV: ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.		134
4.1	ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS PARA EL RELLENO FLUIDO ECOLOGICO SUSTENTABLE.	134
4.2	METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA ANALISIS POR TAMIZADO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS ASTM C-136.	135

4.3	METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA N° 200 (75MM) EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO ASTM C-117.	140
4.4	METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) Y LA ABSORCION DE AGREGADOS FINOS ASTM C-128.	141
4.5	METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA DETERMINAR DENSIDAD APARENTE (PESO UNITARIO), E INDICE DE VACIOS EN LOS AGREGADOS ASTM C-29.	142
4.6	CONSISTENCIA DE FLUJO EN MATERIAL DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (MRBC) ASTM D-6103.	144
4.7	METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA TEMPERATURA DEL CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND RECIEN MEZCLADO ASTM C-1064.	146
4.8	MÉTODO ESTÁNDAR PARA TIEMPO DE FRAGUADO POR RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MEZCLAS. DE CONCRETO (MEDIANTE UN PENETROMETRO DE BOLSILLO, AGUJA DE 1/20" DE DIÁMETRO DE PENETRACIÓN) ASTM C-403.	148
4.9	MÉTODO ESTÁNDAR DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE CILINDROS DE CONCRETO ASTM C-39.	155
4.10	PROPORCIONAMIENTO, SEGUIMIENTO PARA EL TRANSPORTE, ENTREGA Y EVALUACION DEL RFES.	160
CAPITULO V:		169
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.		169
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.		170
5.1	CONCLUSIONES.	171
5.2	RECOMENDACIONES.	173
VII.BIBLIOGRAFIA.		175
VIII.	SITIOGRAFIA.	176
ANEXOS.		177

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Intervalos de Fluidez.	30
Tabla 2: Clasificación de Resistencias.	33
Tabla 3: Resistencias en excavaciones.	35
Tabla 4: Ensayos para resistencia del relleno fluido.	41
Tabla 5: Clasificación de Actividades.	43
Tabla 6: Cuantificación material retornado a planta septiembre 2024.	47
Tabla 7: Cuantificación material retornado a planta octubre 2024.	48
Tabla 8: Cuantificación material retornado a planta noviembre 2024.	49
Tabla 9: Área afectada por Concreto Retornado a Planta.	52
Tabla 10: Tamaño mínimo de las muestras.	68
Tabla 11: Tamaño de las muestras de ensayo.	74
Tabla 12: Dimensiones nominales de malla.	76
Tabla 13: Tamaño de muestra según masa.	83
Tabla 14: Capacidad del recipiente de medición.	93
Tabla 15: Requisitos para las medidas.	94
Tabla 16: Tamaño de muestra para agregado.	99
Tabla 17: Número de Capas Requeridas para los Especímenes.	117
Tabla 18: Límites para Absorción y Elongación.	123
Tabla 19: Granulometría Arena Triturada.	135
Tabla 20: Granulometría Arena Reciclada.	136
Tabla 21: Granulometría de la combinación de constituyentes finos.	138
Tabla 22: Material Fino de Arena Triturada.	140
Tabla 23: Material Fino de Arena Reciclada.	140
Tabla 24: Gravedad Especifica y Absorción de Agregado Fino de la Arena Triturada.	141
Tabla 25: Gravedad Especifica y Absorción del Agregado Fino de la Arena Reciclada.	141
Tabla 26: Peso Volumétrico Suelto del Cemento C-150.	143
Tabla 27: Peso Volumétrico Suelto y Varillado de la Arena Triturada.	143
Tabla 28: Peso Volumétrico Suelto y Varillado de la Arena Reciclada.	143

Tabla 29: Consistencia de Flujo en puntos con diseños de 50kg y 75kg.....	144
Tabla 30: Consistencia de Flujo en puntos con diseños de 100kg y 125kg.....	145
Tabla 31: Consistencia de Flujo en puntos con diseños de 150kg y 175kg.....	145
Tabla 32: Resumen de Consistencia de Flujo.	146
Tabla 33: Temperaturas en puntos con diseños de 50kg y 75kg	146
Tabla 34: Temperaturas en puntos con diseños de 100kg y 125kg.....	147
Tabla 35: Temperaturas en puntos con diseños de 150kg y 175kg.....	147
Tabla 36: Tabla resumen de Temperatura por punto propuesto.....	148
Tabla 37: Tiempo de Fraguado del Diseño con 50kg de Cemento.	149
Tabla 38: Tiempo de Fraguado del Diseño con 75kg de Cemento.	150
Tabla 39: Tiempo de Fraguado del Diseño con 100kg de Cemento.	151
Tabla 40: Tiempo de Fraguado del Diseño con 125kg de Cemento.	152
Tabla 41: Tiempo de Fraguado del Diseño con 150kg de Cemento.	153
Tabla 42: Tiempo de Fraguado el Diseño con 175kg de Cemento.	154
Tabla 43: Compresión de Cilindros RFES a 7dias.....	155
Tabla 44:Compresión de Cilindros RFES a 28 días.....	156
Tabla 45: Resumen de Valores de Compresión a Cilindros RFES.	158
Tabla 46: Proporcionamiento del Diseño con 50 kg de Cemento.....	160
Tabla 47: Proporcionamiento del Diseño con 75 kg de Cemento.....	161
Tabla 48: Proporcionamiento del Diseño con 100 kg de Cemento.....	162
Tabla 49: Proporcionamiento del Diseño con 125 kg de Cemento.....	163
Tabla 50: Proporcionamiento del Diseño con 150 kg de Cemento.....	164
Tabla 51: Proporcionamiento del Diseño con 175 kg de Cemento.....	165
Tabla 52: Resumen de Proporciones Propuestas.....	166
Tabla 53: Comparación de costos de lodocreto y RFES.....	168

INTRODUCCION

En la concepción ecológicamente sustentable se involucran muchas áreas, las cuales por sus convicciones medioambiental mantienen que la sostenibilidad defiende, que la naturaleza no es una fuente inagotable de los recursos y que se debe de tener protagonismo en su uso racional, es por eso que un origen de protección es el reciclamiento, para ello se utilizara una cantidad específica, determinada por la combinación granulométrica de los constituyentes árido fino reciclado en combinación con arenas manufacturadas, dichas fuentes de materias primas se utilizaran para la elaboración del Relleno Fluido Ecológico Sustentable RFES para emplearse en el medio constructivo de la región, el origen de esta materia prima serán los concretos retornados a las diferentes plantas de producción de concreto hidráulico y luego trasladada al destino del proceso de reciclamiento, en específico se tomara como base de estudio una de las plantas fijas con mayor producción diaria del concreto hidráulico en la región de El Salvador.

En el amplio campo de trabajo de la Ingeniería Civil, el diseño de RFES, es una solución ecológicamente sustentable y será sin lugar a dudas uno de las principales productos para elaborar todo tipo de cimentación para estructura de Ingeniería, ya que su versatilidad y desenvolvimiento efectivo de dicho producto se deberá al tipo constituyente adecuadamente procesado, combinado con áridos finos manufacturados para el cumplimiento de las solicitudes que hoy en día se exigen, es así que el arduo trabajo de la ingeniería civil es el de diseñar estas mezclas de manera eficientes, sin olvidar la economía, desempeño, trabajabilidad y sus solicitudes mecánicas partiendo de las características físicas de los constituyentes que formaran parte de este.

Es por eso que en la siguiente investigación se realizara una curva de Resistencia comprendida entre los valores del 5 a 25 kg/cm² con diferentes proporcionamientos utilizando diferentes cantidades de cemento portland (ASTM C-150 tipo I) y agua, esta combinación reunirá las características de desempeño indispensables que se requieran, utilizando para ello la guía de diseño y recomendaciones del ACI 211.1 (Guía para la selección de proporciones para concreto normal, pesado y en masa), se cita el presente método como guía, ya que es una de las referencias técnicas descritas en el Capítulo 9 del ACI 229R (Materiales de Resistencia Baja Controlada), así como también la experiencia local y las normativas ASTM que a continuación se describen en el alcance,

partiendo de materiales finos reciclados obtenidos de los concretos hidráulicos retornados o desechados, ya sea por incumplimiento de los requisitos técnicos de aceptación, concretos que en la obra no se requieran, los sobrantes, concretos que por mala coordinación no son aceptados, por producto no conforme, etc., esto por su parte con lleva a que este material se reprocese con una serie de medidas previamente establecidas para su uso (Trituración), el diseño de esta mezcla es un alivio y abona al cuido de los recursos naturales vírgenes.

CAPITULO I:

GENERALIDADES

CAPITULO I: GENERALIDADES.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1 Título Descriptivo del estudio o investigación.

“Relleno Fluido Ecológico Sustentable derivado del Concreto Hidráulico Retornado a Planta (constituyente fino) combinado con Áridos finos manufacturados, (RFES)”.

1.2 Antecedentes y/o Generalidades del Problema.

Las realidades actuales en temas relacionado a la sustentabilidad circular están en la búsqueda y priorización del reciclaje, el cual incluye la reutilización de productos retornados y/o desechados, del concreto hidráulico de la industria de la construcción y de los productores de concreto premezclado, esta reutilización se logrará utilizando la tecnología disponible. Recientemente se han incrementado estos desechos debido al auge de proyectos de construcción tanto en el sector privado como público, incrementándose paralelamente el daño al ecosistema por la disposición de estos, estos productos utilizan como constituyentes principales materiales extraído de la naturaleza que en la practicidad es una fuente limitada, por otro lado, se debe de conocer que se puede extraer materia prima alternativa derivada de estos productos, para elaborar productos como los Rellenos Fluidos con los cuales se satisfacen las solicitudes de las propiedades mecánicas de soporte y relleno que se solicitan para las estructuras de obras civiles.

Por lo anterior expuesto se pretende que esta investigación mitigue el impacto medioambiental mediante el uso de constituyentes reciclados y debidamente procesados (material fino) como del Relleno Fluido, el cual a su vez forma parte de la familia de Los Materiales de Resistencia Baja Controlada (ACI 229R).

El MBRC es un material relativamente nuevo y diferente del suelo-cemento convencional, puesto que este último requiere generalmente de compactación, lo cual no sucede en el caso del MBRC. Una de sus primeras aplicaciones se llevó a cabo en 1964 por el US Bureau of Reclamation como lecho de las tuberías de concreto (de diámetro de 380 a 2400 mm) de 515 km de longitud en el proyecto de acueducto que se extiende desde el norte de Amarillo hasta el sur de Lubbock, Texas (Adaska, 1997). El material utilizado en este proyecto fue llamado suelo-cemento plástico. Los

áridos utilizados fueron depósitos locales de arena de dunas. Se introdujo un nuevo procedimiento constructivo y el costo del proyecto se estimó un 40% menor que usando las técnicas convencionales de relleno granular. La productividad se incrementó desde 120 hasta 305 metros de tubería colocada por turno, aproximadamente.

Sin embargo, no fue hasta principios de los 70 que el uso del MBRC se hizo prominente. Durante el proyecto de Estación Nuclear de Enrico Fermi II en Monroe, Michigan, ingenieros de la Compañía Detroit Edison y la Corporación Kuhlman (Toledo, Ohio) comenzaron a examinar el papel de la ceniza volante en el hormigón para incrementar su uso en la mayor medida posible (Brewer, 1994). La compañía de Detroit Edison estaba interesada en reducir sus reservas de cenizas volantes incrementando el volumen de uso, mientras que Kuhlman quería aumentar la producción de camiones de hormigón premezclado. La combinación de estos dos intereses fomentó la investigación de un nuevo material de relleno, llamado cenizas volantes fluidas, que fue utilizado en varias aplicaciones a finales de los años 1970 (Funston et al., 1984; Krell, 1989). Este material estaba compuesto principalmente por cenizas volantes y típicamente de 4 a 5% de cemento, junto con una cantidad apropiada de agua. En el proyecto de Belle River, se estimó un ahorro de más de 1 millón de dólares mediante el uso de este nuevo material (Funston et al., 1984).

Una característica impresionante y emocionante de este material por aquel entonces era que mantenía la cohesión y el ángulo pronunciado de reposo cuando se colocaba por encima o por debajo de agua.

El relleno fluido es un producto cementante, generalmente autonivelante y autocompactable, utilizado para rellenos de zanjas, bases etc., que sustituyen a materiales compactados por procesos manuales o mecánicos.

William E. Brewer, que trabajaba para la Corporación Kuhlman, juntamente con Frank Zimmer, de Detroit Edison, contrataron a Edwin L. Saxer de la Universidad de Toledo (Ohio) para llevar a cabo una serie de pruebas de laboratorio con el objetivo de confirmar que el MBRC podría ser fabricado manteniendo un cierto grado de control sobre el producto. Al obtener resultados favorables la compañía Detroit Edison y la corporación Kuhlman estuvieron de acuerdo en proporcionar fondos para desarrollar una empresa llamada “K-Krete Inc.”. El MBRC desarrollado

en estas pruebas de laboratorio fue nombrado K-Krete®, marca registrada por la empresa. La compañía Detroit Edison había estipulado antes de formar la nueva empresa que las mezclas y aplicaciones fueran protegidas, por lo que desarrollaron patentes en cuatro áreas: diseño de la mezcla, técnicas de relleno, lecho de tuberías, y construcción de diques.

En 1974, K-Krete Inc. tenía franquicias por todo Estados Unidos y una en Canadá. Fue vendida en 1977 a una firma de Minneapolis conocida como CONTECH, que finalmente vendió los derechos de K-Krete Inc.

El término relleno de densidad controlada (RDC) surgió en un esfuerzo por evitar los rellenos patentados por K-Krete Inc., respondiendo a las necesidades de la industria de la construcción de desarrollar otros MBRC con aplicaciones como bases de pavimentos, rellenos estructurales y térmicos. Las primeras mezclas desarrolladas de RDC tenían baja resistencia en comparación con el hormigón y mantenían una densidad uniforme desde la parte superior hasta el fondo de la zanja, además, podían ser diseñadas para cumplir cualquier criterio de densidad y resistencia. Inicialmente las mezclas de RDC tenían una resistencia a la compresión alrededor de los 7.0 Kg/cm² y contenían cenizas volantes, cemento portland, áridos finos y agua.

La falta de una fuente centralizada para la obtención y difusión de información dentro del mercado daba lugar a confusión y rechazo por parte de la comunidad de ingenieros a utilizar estos materiales. Lo que provocó la desaceleración de la tecnología alrededor del MBRC.

En 1984, en un esfuerzo para aumentar la concienciación y difundir más información sobre los MBRC, Brewer se puso en contacto con el American Concrete Institute (ACI) y sugirió que se creara un comité para los MBRC. Ese mismo año se creó el Comité ACI 229R-99 sobre los Materiales de Baja Resistencia Controlada (MBRC), del cual Brewer formó parte como presidente durante 6 años. El término MBRC fue elegido en lugar de RDC porque era más general, cubriendo más tipos de materiales de relleno. Los miembros pioneros del ACI 229R-99 determinaron que la caracterización de MBRC era para aquellos materiales cuya resistencia a la compresión a 28 días fuese menor a 8,28 MPa, independientemente de los materiales usados para su fabricación.

Diez años después de la formación del Comité ACI 229R-99, bajo la presidencia de Wayne Adaska, y, tras años de esfuerzos, se terminó el informe sobre el estado del arte del MBRC que resumía

toda la información conocida hasta el momento por la industria de la construcción sobre este material, titulado “Controlled Low-Strength Materials (CLSM)”. Apareció en julio de 1994 en la edición Concrete International, cuya distribución aumentó la concienciación y comprensión del MBRC.

En 1998, la American Society for Testing Materials (ASTM) publicó un libro titulado “Diseño y Aplicación de los Materiales de Baja Resistencia Controlada (relleno fluido)”. Los artículos de este libro representaban el estado del arte y la práctica de los MBRC en obra y en el laboratorio hasta ese momento.

1.3 Descripción del Problema.

Mientras los problemas medioambientales relacionados con los desechos sólidos de concreto hidráulico continúan y están documentados, el daño medioambiental es poco conocido en la región. Es por eso que el objetivo de esta investigación es contribuir a disminuir el impacto ambiental a través de la utilización del reciclaje de los concretos retornados, producto no conforme y desechados.

En la industria de producción de concreto en El Salvador, se identifica la necesidad de explorar el reciclado de agregados para optimizar los costos sin comprometer la calidad de los productos derivados. La carencia de información sobre la factibilidad y eficacia de esta práctica limita la capacidad de la industria para avanzar hacia métodos más sostenibles.

En la producción de concreto existen muchos problemas indirectos que afectan económicamente en los costos de producción, uno de estos costos es el manejo de los residuos de concreto que retornan para ser desechados, los cuales afectan económicamente como ecológicamente al Medio Ambiente; al no aprovechar los concretos retornados y desechados, se generan pérdidas económicas, debido a que gran parte de estos residuos son la materia prima de nuevos productos con constituyentes reciclados, a esperas de ser integrados al mercado regional de la construcción.

El uso de concreto triturado como agregado, conocidos habitualmente como agregados reciclados, para la elaboración de nuevos productos aparece como una alternativa importante, particularmente en regiones densamente pobladas o con escasos recursos naturales. El reciclado de materiales de

construcción, impensable hasta hace algunos años, es hoy en día una de las actividades con mayores perspectivas de crecimiento.

En muchos casos, como en el país, la utilización de materiales de desecho en la construcción es visto de forma celosa debido al poco conocimiento que se tiene sobre ellos y a la inexistencia de normativas y/o especificaciones sobre calidad, para hacer que los productos que se comercialicen tengan propiedades acordes a sus necesidades, hecho que puede lograrse mediante un adecuado tratamiento y una correcta gestión, reduciendo así las cantidades de materiales de desecho y poder aprovechar el potencial que estos tienen como material secundario.

La utilización de los materiales de desecho de la construcción puede ser muy diversa, aunque va a depender de la demanda del mercado y de los métodos de obtención. En una demolición masiva, sin ninguna clasificación previa (salvo los materiales metálicos y los orgánicos) se pueden obtener materiales adecuados para obras como caminos, terraplenes, bases, etc., a lo que esta investigación va encaminada, es a obtener un material adecuado que sea una alternativa en cuanto a calidad, resistencia y confiabilidad para ser utilizado en obras de relleno, cimentaciones, etc.

1.4 Formulación del Problema.

¿En qué medida la incorporación del Relleno Fluido sustentable como material de construcción, utilizando áridos reciclados y manufacturados podría ayudar a minimizar el impacto medio ambiental, en cuanto a la extracción de materiales naturales diversos (recursos vírgenes)?

1.5 Importancia de la Investigación.

Esta investigación, permitirá demostrar si el material resultante del proceso del reciclamiento, derivado del concreto retornado o desechado combinado con áridos finos manufacturados (RFES), influye positivamente en las propiedades del estado fresco como en estado endurecido, esta combinación de materiales está tipificado bajo la familia MRBC, debido a que su resistencia oscilará entre el rango de 5 a 25 kg/cm²

1.6 Justificación.

Los proyectos de construcción generan residuos a través de las demoliciones, estos generan cantidades que es difícil deshacerse de ellos, por lo que con esta investigación se estudiará si la incorporación de áridos reciclados producto de los desechos de concreto hidráulico y áridos

manufacturados, resultan de beneficio para el medio ambiente. Los áridos reciclados son producto de la trituración de los residuos del concreto, el cual ayudará en la reducción de la extracción de los recursos naturales, utilizados tradicionalmente en la elaboración de Suelo Cemento y Material de Resistencia Baja Controlada (MRBC).

Como una condición de la temática en la investigación, es la de contribuir y dar a conocer las propiedades del RFES y el desempeño de sus propiedades mecánicas a diferentes proporcionamientos y contenidos de cemento hidráulico, así como también su comportamiento en estado fresco y endurecido, también se hace necesario documentar de qué manera contribuirá a minimizar el impacto ambiental.

Las recomendaciones del ACI 229R literal 8.5 el cual menciona que el proporcionamiento de las mezclas se diseñaran de manera básica racional, con lo descrito en este documento y agregando las propiedades objetivos que se soliciten del Relleno Fluido Ecológico Sustentable, se propone que este se determinen las cantidades de los constituyentes siguiendo los pasos que competan de la guía del ACI 211.1, así como también el aporte de la experiencia local y las modificaciones necesarias que contribuyan al desarrollo de un producto que satisfaga las expectativas para las cuales es creado.

Si los resultados de esta investigación son viables se podrá utilizar el relleno fluido utilizando áridos reciclados y manufacturados para rellenar zanjas, excavaciones para cimentaciones y la estabilización de suelos para conformación de la subrasante.

Es de aclarar que, el relleno fluido no es un mortero, es un término para describir el MRBC, así como otros nombres diversos, la norma ASTM C-270 (Especificación Estándar para Mortero usado en Mampostería), en el alcance de esta especificación se refiere a los morteros de pega que se usan en la construcción de estructuras de mampostería con y sin refuerzo; En cambio el MRBC se utiliza principalmente como relleno, entre ellos podemos mencionar rellenos estructurales, no estructurales y bases de cimentaciones, etc.

1.7 Alcances del proyecto.

Los alcances que se pretenden en este estudio son los siguientes:

1. Determinar el esfuerzo de compresión en especímenes de RFES con material fino reciclado y la adición de Áridos Finos Manufacturados.
2. Determinar si el RFES, con la mezcla antes descrita será bombeable, trabajable.
3. Determinar la curva de resistencia del RFES, con los requisitos de resistencia a la compresión establecidos en el rango propuesto (de 5 a 25 kg/cm²).

Constituyentes del Relleno Fluido Ecológico Sustentable RFES a Diseñar

- Tipo de Agregado: material fino reciclado y Áridos Finos Manufacturados (Arena Triturada).
- Cemento: ASTM C150 Tipo 1 Portland.
- Agua: ASTM C 1602.

Por lo antes mencionado se llevarán a cabo los siguientes ensayos normados:

- ASTM D-6103 Consistencia de Flujo en Material de Resistencia Baja Controlada (MRBC).
- ASTM D-4832 Preparación y Ensayo de Cilindros de Material de Resistencia Baja Controlada (MRBC).
- ASTM D-5971 Muestreo en una Mezcla Fresca de Material de Resistencia Baja Controlada (MRBC).
- ASTM C-403 Método estándar para tiempo de fraguado por resistencia a la compresión de Mezclas. de Concreto (mediante un penetrometro de bolsillo, aguja de 1/20" de diámetro de penetración).
- ASTM C-1064 Temperatura del Concreto de Cemento Portland Recién Mezclado.
- ASTM C-138 Método estándar para Peso Unitario, Rendimiento, y contenido de aire del concreto (método gravimétrico).
- ASTM C-39 Método Estándar de Resistencia a Compresión de Especímenes de Cilindros de Concreto.
- ASTM C-136 Método de Ensayo Estándar para Análisis por Tamizado de Agregados Fino y Grueso.

- ASTM C-29 Método de Ensayo Estándar para Determinar la Densidad Aparente (Peso Unitario), e Índice de Vacíos en los Agregados.
- ASTM C-566 Método de Ensayo Estándar para Contenido de Humedad Total del Agregado por Secado.
- ASTM C-192 Práctica Estándar para Elaboración y Curado en el Laboratorio de Especímenes de Concreto para Ensayo.
- ASTM C-117 Método de Ensayo Estándar para Material más Fino que la Malla No. 200 (75 μ m) en Agregado Mineral por Lavado.
- ASTM C-128 Método de Prueba Estándar para la Gravedad Específica y Absorción de Agregados finos.
- ASTM C-702 Método de Ensayo Estándar para Reducción de las Muestras de Agregados a Tamaños de Prueba.
- ASTM C-470 Especificación Estándar para Moldes para Encofrado Vertical de Cilindros de Concreto.
- ASTM D-75 Método de Ensayo Estándar para Muestreo de Agregados.

1.8 Limitantes.

1. Los equipos destinados para el desarrollo de las practicas, en particular los cilindros contenedores para los testigos son pocos los disponibles eventualmente, debido a la cantidad de pruebas en desarrollo del Área Técnica de Holcim RMX, es por eso que se van a adquirir y utilizar moldes de plásticos normados bajo la ASTM C- 470.
2. Para esta investigación no se cuenta con normativas específicas para el tipo de material que se va a utilizar, para ello se aplicarán las normas ASTM referente al Material de Resistencia Baja Controlada (MRBC) y de concreto.
3. El desarrollo de las prácticas de esta investigación se llevará a cabo los fines de semana en el Plantel HOLCIM RMX, San Andrés y en Plantel HOLCIM RMX de cantera Tepeagua, La Libertad, ya que por compromisos laborales se nos imposibilita realizarlas los días restantes.

1.9 Delimitación del problema.

Tiempo

A partir del mes de enero de 2025 hasta agosto de 2025.

Espacio.

Planta de producción de concreto HOLCIM RMX, Santa Tecla.



Ilustración 1: Planta de producción de concreto HOLCIM RMX, Santa Tecla, carretera Panamericana.

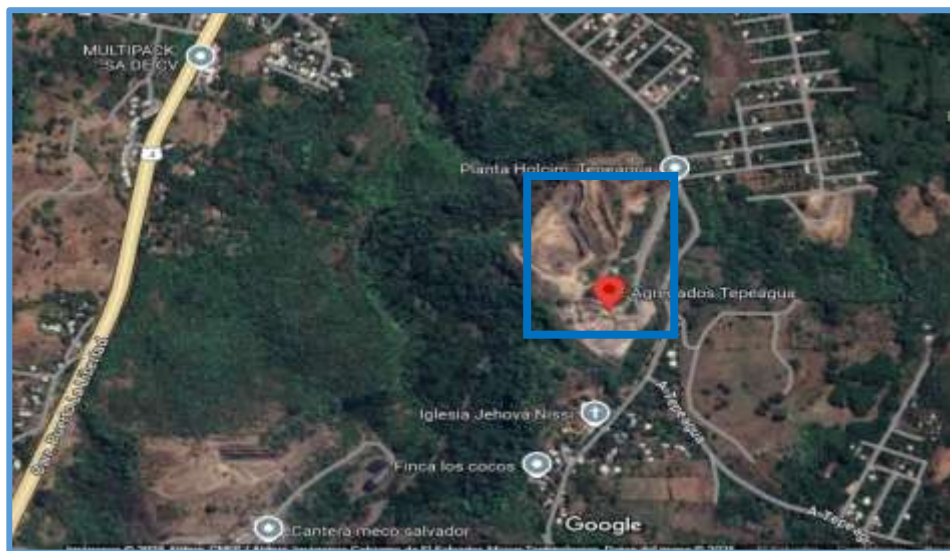


Ilustración 2: Planta de agregados tepeagua, La Libertad.

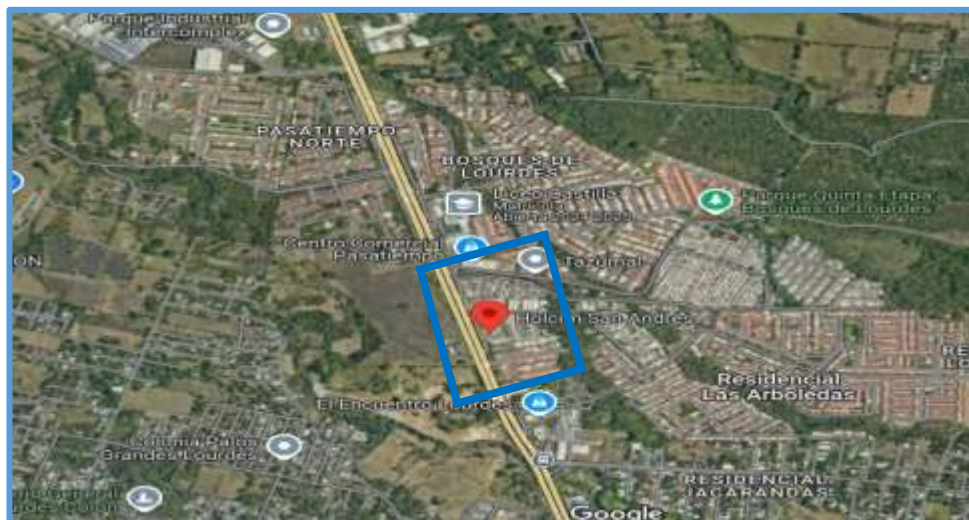


Ilustración 3: Planta de producción de Concreto HOLCIM RMX, San Andrés, carretera Panamericana

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General.

- Evaluar el comportamiento mecánico a través de la resistencia a la compresión en especímenes de Relleno Fluido Ecológico Sustentable (RFES), para ser aplicado en obras de cimentación y proyectos de pavimentación.

2.2 Objetivos Específicos.

- Realizar el diseño y proporcionamiento de material de Relleno Fluido Ecológico Sustentable (RFES), aplicando el reglamento ACI 229R, utilizando áridos reciclados y manufacturados.
- Evaluar los resultados del esfuerzo a compresión de los especímenes de material de Relleno Fluido Ecológico Sustentable (RFES), elaborados con áridos reciclados de concreto y áridos manufacturados.
- Realizar el costo de los gastos de producción del material de Relleno Fluido Ecológico Sustentable (RFES) vs el costo del Material de Resistencia Baja Controlada (MRBC).

3. MARCO DE REFERENCIA.

3.1 Fundamentos socioeconómicos

Por otra parte, en cuanto a los aspectos de esta investigación, en primer orden es disminuir su impacto al medio ambiente y buscar una relación directa con la economía de los procesos involucrados con el reciclaje de los concretos retornados y productos de concretos desechados de la construcción, lo cual da paso al constituyente que formara parte del producto final, buscando reemplazar una parte de las materias primas vírgenes con escasas y/o alteración de la naturaleza.

Sobre esta situación, la condición de la extracción de los áridos naturales es particularmente delicada, ya que conlleva a la inversión de múltiples recursos, entre ellos se puede mencionar: permisos medioambientales, seguridad, equipo y maquinaria especializada, recurso humano idóneo, transporte, etc., esto conlleva al encarecimiento de una serie de actividades involucradas en los procesos para la preparación de los constituyentes que cumplan con ciertos requisitos para la elaboración de productos concretos, para el caso de los Materiales de Resistencia Baja Controlada (MRBC), los constituyentes para este producto no son tan restrictivo en cuanto a sus requisitos para su uso, se adecua en base a sus propiedades físicas y a las solicitudes que demandan las estructuras en las obras de construcción.

3.2 Fundamentos conceptuales y teóricos.

Para ampliar el marco de referencia, se consideran algunos de los conceptos fundamentales que dan soporte a la investigación, que pretende seguir una secuencia lógica durante el proceso que ayude a comprender mejor el tema.

- **Relleno Fluido Ecológico Sustentable (RFES):** son mezclas compuestas en su forma más básica por cemento, agua y agregados finos, cuyas características de fluidez y auto compactación, producto de la trituración del concreto hidráulico retornado a las plantas donde produce (material fino) combinado con áridos finos manufacturados,

- Los Materiales de Resistencia Baja Controlada (MRBC): son mezclas compuestas en su forma más básica por cemento, agua y agregados finos, cuyas características de fluidez y auto compactación, localmente también conocidos como lodocreto.
- Resistencia a la Compresión: Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de los materiales que no se rompen en la compresión se define como la cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material una cantidad arbitraria.
- ACI: Instituto Americano del Concreto (American Concrete Institute, por sus siglas en inglés) es una organización que desarrolla estándares, normas y recomendaciones técnicas con referencia al concreto reforzado.
- ASTM: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales es una organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios.
- Análisis Granulométrico o Mecánico: procedimiento para determinar la granulometría de un material, o la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños.
- Bancos de materiales: nombre que se le asigna al sitio o lugar del cual se extrae material selecto (suelo sano) para la elaboración del MRBC.
- Cimentación: Parte de una estructura que transmite cargas al terreno de fundación.
- Asentamiento: es una disminución de tamaño en la dirección vertical, producida por una disminución en su volumen.
- Auto compactable: característica que presentan algunos materiales de acomodarse sin la necesidad de un agente externo.
- Control de Calidad: Pruebas técnicas para comprobar la correcta ejecución de las diferentes etapas o fases de un trabajo con relación a las especificaciones técnicas o requisitos específicos establecidos.

- Reciclar: proceso por medio del cual un residuo sólido se le devuelve su potencialidad de reincorporación como materia prima o insumo para la fabricación de nuevos productos.
- Ripio: es todo tipo de residuo sólido, resultante de demoliciones, construcciones, reparaciones de inmuebles o de otras obras civiles; es decir, los sobrantes de cualquier acción que se ejerza en las estructuras urbanas o rurales.
- Concreto Hidráulico: es una mezcla homogénea de cemento, agua, arena, grava y en algunos casos de aditivos. En la actualidad es el material más utilizado en la industria de la construcción por su duración, resistencia, impermeabilidad, facilidad de producción.
- Áridos finos: conjunto de materiales de composición mineral, naturales o artificiales, generalmente inertes, usados en la construcción de obras civiles, además son pasantes de malla N° 4 y retenido en malla N° 200.
- Relleno: es un procedimiento que consiste en rellenar una zona excavada, con material para proporcionar estabilidad, este puede realizarse con material como suelo, grava y se compacta para eliminar vacíos de aire.
- Medio Ambiente: es el espacio en el que se desarrolla la vida de los organismos y que permiten su interacción, está conformado por seres vivos (factores bióticos), por elementos sin vida (factores abióticos) y por elementos artificiales creados por el hombre.
- Planta de procesamiento de concreto: es una instalación industrial que produce concreto premezclado, donde se mezclan componentes del concreto como cemento, agua, arena, grava y aditivos.

3.3 Fundamentos normativos, jurídicos, medioambientales e históricos.

La investigación estará respaldada según normas de la Sociedad Americana de Ensayos de Materiales (ASTM), American Concrete Institute (ACI), y cabe mencionar algunas de ellas ACI 211.1 en el cual expone la guía para la selección de proporciones para concreto normal, pesado y

en masa, ASTM D-4832 preparación y ensayos de cilindros de Materiales de Baja Resistencia Controlada (MBRC).

El concreto es el material de construcción más utilizado en el mundo, en consecuencia, los residuos de concreto son unas de las principales fuentes que pueden ser recicladas. El alto volumen de residuos de construcción, demolición, retornado, sobrantes, etc., constituye un problema ambiental grave.

El problema ambiental que plantean los residuos de construcción se deriva no solo del creciente volumen de generación, sino de su tratamiento. Entre los impactos ambientales que estos provocan, cabe destacar la contaminación del suelo, acuíferos y el deterioro paisajístico etc. En El Salvador, la cantidad de residuos de construcción, demolición, retornado, sobrantes, etc. que son aprovechables son muy bajos, en comparación a otros países, ya que no son de cumplimiento obligatorio para las obras públicas y privadas el reciclado de los residuos de concreto, las normatividades en diferentes países del mundo promueven de manera efectiva el uso de los residuos de concreto, cualquiera que fuese su procedencia, hasta alcanzar porcentajes muy altos de reutilización. La creciente demanda de uso del concreto tendrá impactos sobre el medio ambiente, que tendrán que tener en cuenta las Autoridades Ambientales, para poder mitigarlos.

En El Salvador deberán implementar lineamientos ambientales y técnicos para el tratamiento y aprovechamiento de los Residuos de Concreto, los cuales incluyan a los Generadores, Transportadores y los que realicen tratamiento y/o aprovechamiento de Residuos de Construcción.

En El Salvador se debe avanzar con la investigación y desarrollo de la durabilidad de Residuos de Concreto, otros productos generados a partir de este y otras aplicaciones de los Residuos de este producto, que contribuyan al desarrollo de la Ley antes mencionada para garantizar el uso responsable de los nuevos productos a partir de los Residuos de Concreto y desarrollar incentivos a su utilización.

Es de aclarar también que, en El Salvador, se cuenta además con la Ley del Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, que tiene como uno de sus objetivos, el garantizar el uso sostenible de los recursos naturales y mejorar la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras. Presentamos algunos artículos de esta ley:

Art. 1.- La presente ley tiene por objeto lograr el aprovechamiento y disposición final sanitaria y ambientalmente segura de los residuos, a fin de proteger la salud de las personas, el medio ambiente y fomentar una economía circular, a través del establecimiento de una visión sistémica en la gestión integral de los residuos, la determinación de los actores y su forma de interacción, y la asignación de responsabilidades para lograr cambios conductuales en la población.

Para lograr lo anterior, se considerarán al menos los procesos siguientes: disminución de la generación de residuos priorizando la prevención, el fomento a la reutilización, reparación, el reciclaje y otros tipos de valorización, concientizando a la población en la preferencia de productos que generen residuos aprovechables.

En cuanto al ámbito de aplicación podemos mencionar que:

Cuando en cualquier ley sean utilizados los términos de desechos, desperdicios o basura, deberá analizarse si estos son residuos aprovechables o no aprovechables de acuerdo a las definiciones establecidas en esta ley.

Definiciones

Art. 5.- Para los efectos de esta ley se entenderá por:

Reciclar: proceso por medio del cual un residuo sólido se le devuelve su potencialidad de reincorporación como materia prima o insumo para la fabricación de nuevos productos.

Ripio: es todo tipo de residuo sólido, resultante de demoliciones, construcciones, reparaciones de inmuebles o de otras obras civiles; es decir, los sobrantes de cualquier acción que se ejerza en las estructuras urbanas o rurales.

Una de las atribuciones destacadas:

Art. 7.- El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales tendrá las siguientes atribuciones:

Literal

- g) Apoyar técnicamente en la gestión integral de residuos y fomentar el reciclaje.

ñ) Impulsar el reciclaje, promoviendo mecanismos y acciones tendientes a incorporar al sector público y privado, organizaciones de la sociedad civil y población en general.

Acciones de políticas

Art. 11.- En la aplicación de la gestión integral de residuos y el reciclaje, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, así como las municipalidades, deberán orientar sus acciones principalmente a:

- a) Generar políticas encaminadas a maximizar el aprovechamiento de residuos, a fin de que la disposición final sea solamente de aquellos residuos no aprovechables.
- b) Fomentar con inclusión del sector privado, municipalidades, y sociedad civil, el desarrollo de mercados para la comercialización y consumo de productos reciclables.
- f) Fomentar la investigación y desarrollo de tecnologías para la gestión integral de residuos y su aprovechamiento.
- g) Generar políticas de prevención de generación de residuos, así como también de promoción de su valorización.

Además, del Decreto N.º 527.- Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje, si cuenta con su propia legislación al respecto y que su objetivo es reducir, reutilizar y reciclar los residuos para convertirlos en productos que generen un valor agregado al sector de la construcción. Las entidades públicas y privadas de la construcción en El Salvador deberán Incentivar a los constructores, para fomentar el reciclado y/o reutilización de los materiales contenidos en los residuos, ya que la reutilización de los residuos de concreto tiene ventajas tanto ambientales, económicas y de durabilidad de los materiales, que por sus diferentes usos se convierte en una de las tecnologías actuales con más futuro en el mercado.

CAPITULO II:

MARCO CONCEPTUAL

CAPITULO II: MARCO CONCEPTUAL.

2.1 REFERENCIA MRBC ACI 229R-99, MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (CARACTERÍSTICAS, PROPIEDADES, APLICACIÓN, MEZCLADO Y TRANSPORTE, CONTROL DE CALIDAD).

2.1.1. HISTORIA DE LOS MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (MRBC).

El MBRC es un material relativamente nuevo y diferente del suelo-cemento convencional, puesto que este último requiere generalmente de compactación, lo cual no sucede en el caso del MBRC. (González, 2012, P.11).

Una de sus primeras aplicaciones se llevó a cabo en 1964 por el US Bureau of Reclamation como lecho de las tuberías de concreto (de diámetro de 380 a 2400 mm) de 515 km de longitud en el proyecto de acueducto que se extiende desde el norte de Amarillo hasta el sur de Lubbock, Texas (Adaska, 1997). El material utilizado en este proyecto fue llamado suelo-cemento plástico. Los áridos utilizados fueron depósitos locales de arena de dunas. Se introdujo un nuevo procedimiento constructivo y el costo del proyecto se estimó un 40% menor que usando las técnicas convencionales de relleno granular. La productividad se incrementó desde 120 hasta 305 metros de tubería colocada por turno, aproximadamente.

El relleno fluido “es un producto cementante, generalmente autonivelante y auto-compactable, utilizado para rellenos de zanjas, bases etc., que sustituyen a materiales compactados por procesos manuales o mecánicos”. (ACI 229R- 99, p2).

William E. Brewer, que trabajaba para la Corporación Kuhlman, juntamente con Frank Zimmer, de Detroit Edison, contrataron a Edwin L. Saxer de la Universidad de Toledo (Ohio) para llevar a cabo una serie de pruebas de laboratorio con el objetivo de confirmar que el MBRC podría ser fabricado manteniendo un cierto grado de control sobre el producto. Al obtener resultados favorables la compañía Detroit Edison y la corporación Kuhlman estuvieron de acuerdo en proporcionar fondos para desarrollar una empresa llamada “K-Krete Inc.”. El MBRC desarrollado en estas pruebas de laboratorio fue nombrado K-Krete®, marca registrada por la empresa. La

compañía Detroit Edison había estipulado antes de formar la nueva empresa que las mezclas y aplicaciones fueran protegidas, por lo que desarrollaron patentes en cuatro áreas: diseño de la mezcla, técnicas de relleno, lecho de tuberías, y construcción de diques.

En 1974, K-Krete Inc. tenía franquicias por todo Estados Unidos y una en Canadá. Fue vendida en 1977 a una firma de Minneapolis conocida como CONTECH, que finalmente vendió los derechos de K-Krete Inc.

El término relleno de densidad controlada (RDC) surgió en un esfuerzo por evitar los rellenos patentados por K-Krete Inc., respondiendo a las necesidades de la industria de la construcción de desarrollar otros MBRC con aplicaciones como bases de pavimentos, rellenos estructurales y térmicos. Las primeras mezclas desarrolladas de RDC tenían baja resistencia en comparación con el concreto y mantenían una densidad uniforme desde la parte superior hasta el fondo de la zanja, además, podían ser diseñadas para cumplir cualquier criterio de densidad y resistencia. Inicialmente las mezclas de RDC tenían una resistencia a la compresión alrededor de los 0,7 MPa y contenían cenizas volantes, cemento portland, áridos finos y agua.

La falta de una fuente centralizada para la obtención y difusión de información dentro del mercado, daba lugar a confusión y rechazo por parte de la comunidad de ingenieros a utilizar estos materiales. Lo que provocó la desaceleración de la tecnología alrededor del MBRC.

En 1984, en un esfuerzo para aumentar la concienciación y difundir más información sobre los MBRC, Brewer se puso en contacto con el American Concrete Institute (ACI) y sugirió que se creara un comité para los MBRC. Ese mismo año se creó el Comité ACI 229R-99 sobre los Materiales de Baja Resistencia Controlada (MBRC), del cual Brewer formó parte como presidente durante 6 años. El término MBRC fue elegido en lugar de RDC porque era más general, cubriendo más tipos de materiales de relleno. Los miembros pioneros del ACI 229R-99 determinaron que la caracterización de MBRC era para aquellos materiales, cuya resistencia a la compresión a 28 días fuese menor a 8,28 MPa, independientemente de los materiales usados para su fabricación.

Diez años después de la formación del Comité ACI 229, bajo la presidencia de Wayne Adaska, y, tras años de esfuerzos, se terminó el informe sobre el estado del arte del MBRC que resumía toda la información conocida hasta el momento por la industria de la construcción sobre este material,

titulado “Controlled Low-Strength Materials (CLSM)”. Apareció en julio de 1994 en la edición Concrete International, cuya distribución aumentó la concienciación y comprensión del MBRC. (González, 2012, p.11).

2.1.2. APLICACIONES.

“El material de baja resistencia controlada (MRBC) es un material cementante auto compactado que se utiliza principalmente como relleno, como alternativa al relleno compactado”. (ACI 229R-99, p.2)

En la actualidad, se utilizan varios términos para describir este material, entre ellos, relleno fluido, relleno de densidad controlada, mortero fluido, suelo-cemento plástico, lechada de suelo-cemento y otros nombres diversos.

La terminología empleada por el comité ACI 229 (NMRCA - The National Ready Mixed Concrete Association) es Material de Resistencia Baja Controlada, otros conceptos utilizados para este material son: Relleno sin retracción, relleno de densidad controlada, mortero fluido o mezcla de mortero pobre de relleno. (NMRCA - The National Ready Mixed Concrete Association, CIP 17)

Los Rellenos Fluidos están definidos en Terminología del Cemento y el Concreto como materiales que resultan en una resistencia a la compresión de 84 kg/cm² o menos. La mayoría de las aplicaciones recientes requieren resistencias de compresión no confinados de 21 kg/cm² o menos. (ACI 116R-00, p.20)

Este requerimiento de una menor resistencia es necesario para permitir la excavabilidad de los Rellenos Fluidos. Por lo que no se debe considerar como un tipo de concreto de baja resistencia sino como un material de relleno auto compactado, empleado en lugar de los rellenos granulares y suelos compactados. Generalmente las mezclas de relleno fluido no están diseñadas para resistir fuerzas abrasivas, erosivas o ataque agresivo de químicos. Los materiales no normalizados pueden ser usados para producir relleno fluido sólo después de que estos hayan sido ensayados y se encuentre que satisfacen las necesidades para la aplicación.

Además, el relleno fluido no se debe confundir con el suelo-cemento compactado. El suelo-cemento, como está definido por el comité ACI 230.1R Suelo-cemento, requiere compactación y

curado. El Relleno Fluido típicamente no requiere compactación o curado para lograr la resistencia deseada. Las resistencias a compresión a largo plazo para suelo-cemento compactado, frecuentemente sobrepasan la del relleno fluido.

Las resistencias a compresión de 3,5 a 21 kg/ cm² son muy bajas comparadas con las del concreto. Sin embargo, en términos de la presión de soporte permitida, la cual constituye un criterio de uso común para medir la capacidad de un suelo para soportar una carga, una resistencia de 3,5 a 7 kg/ cm² es equivalente a un relleno bien compactado. (ACI 229R-99, p.2)

Como se estableció anteriormente, la principal aplicación del relleno fluido es como relleno estructural o relleno en lugar de suelo compactado.

Puesto que, no requiere compactación y puede ser diseñado para ser muy fluido, es ideal para ser usado en áreas donde el acceso es restringido o estrecho, donde es difícil colocar y compactar un relleno. Si se ha anticipado que en el futuro será necesaria una excavación, la máxima resistencia a compresión a largo plazo no debe exceder los 21 kg/cm². Las siguientes aplicaciones buscan presentar el rango de usos del Relleno fluido.

A continuacion se presenta las diferentes aplicaciones de los Rellenos Fluidos:

Generalidades de los Rellenos:

Los Rellenos Fluidos pueden ser fácilmente colocados en zanjas, huecos u otro tipo de cavidades. Puesto que no se requiere compactación, el ancho de la zanja o el tamaño de la excavación puede reducirse. El relleno proveniente de la excavación de tipo granular, aún si se compacta de la manera apropiada en el espesor de capa requerido, no obtiene la uniformidad que puede lograr el Relleno fluido. (ACI 229R- 99, p.2)

Cuando se hacen rellenos contra muros de contención, se deben considerar las presiones laterales ejercidas sobre el muro por el Relleno fluido. Cuando a la presión lateral del fluido se hace importante, el Relleno fluido debe ser colocado en capas permitiendo a cada una endurecer antes de colocar la siguiente.



Ilustración 6: Relleno Fluido colocado como sustituto de compactación tradicional.

Rellenos Estructurales:

El Relleno Fluido también puede ser empleado como soporte de cimentación, las resistencias a compresión pueden variar desde 7 hasta 83 kg/ cm², dependiendo de la aplicación. En el caso de suelos débiles, este puede distribuir la carga de la estructura sobre un área mayor. Para estratos no nivelados o no uniformes bajo la base de la cimentación y placas, el relleno fluido puede proveer una superficie nivelada y uniforme. (ACI 229R-99, p.3)

Los esfuerzos de compresión pueden variar dependiendo de los requisitos del proyecto, debido a su resistencia, el relleno fluido puede reducir significativamente el espesor requerido de la placa, ya que su capacidad de soporte puede ser muy superior a la de una base granular. En el caso de que se deba mantener el espesor de la capa, se puede utilizar un relleno fluido de menor resistencia.



Ilustración 7: Relleno Fluido colocado para soporte en fundación aislada.

Bases de Pavimentos:

“Las mezclas de Relleno fluido pueden ser usadas para bases de pavimento, subbases y nivelación de subrasantes.” (ACI 229R-99, p.3)

Las mezclas pueden ser colocadas directamente del camión mezclador sobre el suelo, utilizando los bordillos existentes como confinamiento para el diseño de la base de pavimentos flexibles, los coeficientes estructurales difieren dependiendo de la resistencia del Relleno Fluido. Basados en los valores de los coeficientes estructurales para bases tratadas con cemento, el coeficiente estructural de una capa de Relleno fluido puede ser estimada en un rango de 0.16 a 0.28 (relaciones de espesor entre los diversos materiales de interés para un material base de piedra triturada estándar) para esfuerzos de compresión desde 28 hasta 83 kg/ cm².



Ilustración 8: Relleno Fluido usado para soporte pavimento.

Relleno de Tuberías:

El Relleno Fluido es un excelente material para rellenos en tuberías de agua, luz, teléfonos y otros tipos de conductos. Las características de fluidez del material permiten al Relleno fluido llenar vacíos bajo la tubería y proveer un soporte uniforme.

El Relleno Fluido puede ser diseñado para proveer resistencia a la erosión debajo de la tubería. Esto no sólo da una cama sólida y uniforme, sino que previene que el agua ingrese entre la tubería y la cama erosionando el soporte. (ACI 229R- 99, p.4)

La colocación de la totalidad de la tubería embebida dentro del Relleno Fluido también sirve para proteger el conducto de futuros daños. En el evento de que se excave alrededor de la tubería, el cambio de aspecto y de material entre Relleno Fluido y el suelo circundante, será evidente, alertando sobre la existencia de una tubería.



Ilustración 9: Relleno Fluido usado como recubrimiento de protección de tuberías.

Control de Erosión:

El Relleno Fluido resiste la erosión mejor que otros materiales de relleno. Ensayos comparativos con varios materiales de relleno de arenas y arcillas mostraron que el Relleno Fluido expuesto a

pág. 25

agua a una velocidad de 0.52 m/s, tiene un mejor desempeño que los otros materiales, tanto en la cantidad de material perdido como de material suspendido.

“El Relleno Fluido se utiliza en la protección de los terraplenes y los fosos de disipación de energía bajo los rápidos de presas, para sostener rocas en su lugar y prevenir la erosión”. (ACI 229R- 99, p.4)

De igual manera, se utiliza en bolsacretos a lo largo de terraplenes para la protección contra la erosión. El Relleno Fluido es usado para rellenar los espacios bajo el pavimento, los andenes, puentes y otras estructuras donde el suelo natural o los rellenos granulados no cohesivos son erosionados.

Túneles y alcantarillados:

“En el relleno de túneles y alcantarillas es muy importante usar una mezcla muy fluida. El suministro constante de relleno fluido ayudará a mantener el material fluyendo a través de una distancia mayor.” (ACI 229R- 99, p.4)

Relleno Fluido para relleno de cárcavas, sótanos y estructuras bajo la superficie:

Se pueden rellenar sótanos con relleno fluido por medio de bombas o bandas transportadoras, a través de una ventana o una puerta. El relleno fluido ha sido empleado para llenar tanques abandonados bajo tierra, evitando de esa manera la formación de vacíos que se puedan asentar o gases que puedan ocasionar explosiones. (ACI 229R-99, p.5)

Normalmente los tanques que salen de servicio deben ser removidos del suelo o rellenados con un material sólido inerte.



Ilustración 10: Relleno Fluido usado en rellenos bajo la superficie.

2.1.3. MATERIALES.

Generalidades.

Las mezclas convencionales de Relleno Fluido “consisten usualmente de: cemento portland, agregados finos y/ o gruesos, agua y aditivos. Algunas mezclas consisten solamente de agua, cemento portland y cenizas volantes.” (ACI 229R-99, p.5)

La selección de los materiales debe basarse en la disponibilidad, costo, tipo de aplicación y características necesarias de la mezcla incluyendo fluidez, resistencia, excavabilidad, densidad, contenido de aire, etc.

Cemento.

Para la mayoría de las aplicaciones, se usa normalmente el cemento Portland Tipo I de conformidad con la norma ASTM C-150. Otros tipos de cemento incluyendo los cementos adicionados especificados en la norma ASTM C 595 y ASTM C-1157 (GU, HE), pueden ser empleados si los ensayos preliminares muestran resultados aceptables. (ACI 229R-99, p.5)

Cenizas volantes. (*)

Los materiales tales como las cenizas volantes son usados algunas veces para mejorar la fluidez. Su empleo también incrementa el esfuerzo y reduce la exudación, retracción y permeabilidad. Un alto contenido de cenizas volantes en las mezclas, resulta en una menor densidad del relleno fluido comparado con mezclas con alto contenido de agregados. (ACI 229R-99, p.5)

(*) Los materiales tales como las cenizas volantes pueden representar una desventaja, ya que combinado con los materiales principales en la mezcla puede resultar como producto final en una disminución de densidad, más sin embargo pueden existir requisitos de baja densidad para los rellenos fluidos y se convierte en una ventaja del relleno fluido.

Aditivos químicos.

Aditivos que permitan la inclusión de aire, pueden ser constituyentes valiosos en la producción de relleno fluido, el aire genera vacíos y mejora la fluidez, desempeño y economía. También puede ser usado para aumentar las características de aislamiento y reducir la densidad. De igual manera, se pueden utilizar como medio para limitar la resistencia máxima del relleno fluido.

Aditivos reductores de agua, “se han utilizado en las mezclas de relleno fluido con bajo contenido de finos. El objetivo es reducir el contenido de agua y acelerar el fraguado a la vez que disminuye el asentamiento.” (ACI 229R-99, p.6)

Aunque los aditivos químicos se han utilizado normalmente en las mezclas de Relleno Fluido, se deben efectuar ensayos preliminares para determinar su aceptabilidad

Agua.

El agua “que sirve para producir mezclas de concreto también lo es para las mezclas de Relleno Fluido”. (ACI 229R-99, p.6).

La norma ASTM C-94 / ASTM C-1602 Concreto Premezclado, provee información adicional sobre los requerimientos de calidad del agua.

Agregados.

Los agregados son frecuentemente el mayor constituyente de las mezclas de relleno fluido, el tipo, grado y forma de los agregados pueden afectar propiedades físicas tales como: la fluidez y resistencia a la compresión. Los agregados que cumplen con la norma ASTM C-33 son los más adecuados.

Los materiales granulares de excavación “con propiedades de menor calidad que los agregados para concreto pueden generar variaciones indeseables en las propiedades físicas de los componentes de la mezcla y tendrán un efecto significativo en el desempeño de esta.” (ACI 229R-99, p.6)

Suelos con finos de arcilla han mostrado problemas de mezclado incompleto, mezcla pegajosa, exceso en la demanda de agua, contracción y resistencia variable. Estos tipos de suelos no se deben

considerar para producir Relleno Fluido. Los agregados que se deben utilizar son los especificados por la norma ASTM C-33.

Materiales no normalizados.

Los materiales no normalizados, los cuales pueden estar disponibles y ser más económicos, también pueden ser utilizados en las mezclas de relleno fluido dependiendo de los requerimientos del proyecto. Estos materiales, sin embargo, deben ser ensayados antes de su uso para determinar su aceptabilidad en las mezclas de relleno fluido.

Algunos ejemplos de materiales no normalizados que pueden ser empleados como agregados son: “cenizas de fondo producidas en el proceso de combustión del carbón, arena descartada en procesos de fundición y concreto reciclado.” (ACI 229R-99, p.6)

Se deben evitar los agregados o mezclas que se expandan por absorción de agua, una vez se pongan al servicio debido a reacciones expansivas u otros mecanismos. Además, astillas de madera u otros materiales orgánicos, pueden no ser apropiados como constituyentes. Las cenizas volantes con contenidos de carbón hasta del 22 % han sido empleadas exitosamente en relleno fluido.

En todos los casos las características de los materiales no normalizados, deben ser determinadas y se debe ensayar si el material es apropiado para la mezcla de relleno fluido, en cuanto al cumplimiento de las especificaciones requeridas. En ciertos casos, las regulaciones ambientales solicitan una precalificación de la materia prima o la mezcla de relleno fluido o ambos antes de ser usados.

2.2 PROPIEDADES.

Las propiedades del relleno fluido cruzan los límites entre un suelo y un concreto, el relleno fluido es fabricado a partir de materiales similares a los empleados en la producción de concreto y además su aplicación se realiza de manera similar a la del concreto. (ACI 229R-99, p.6)

Pero una vez en servicio, el relleno fluido posee características similares a los suelos, las propiedades del relleno fluido están afectadas por los constituyentes de la mezcla y su

dosificación. Dado que hay muchos factores que afectan, puede existir un amplio rango de valores para las diferentes propiedades que se discuten a continuación.

2.2.1 PROPIEDADES EN ESTADO PLASTICO.

Fluidez.

La fluidez es la propiedad que hace al relleno fluido único como material de relleno, permite que el material se autonivele, fluya dentro de un espacio vacío y lo llene, y además se autocompacte, sin necesidad de emplear el equipo convencional de aplicación y compactación. (ACI 229R-99, p.6)

Esta propiedad representa la mayor ventaja del relleno fluido comparado con los materiales granulares de relleno que deben ser colocados por capas y compactados mecánicamente.

Dada su similitud con el concreto y materiales tipo grout en estado plástico, la fluidez se puede estudiar mejor en términos de la tecnología para concreto y grout.

Una consideración importante a tener en cuenta en el uso del relleno fluido altamente fluido, es la presión hidrostática que ejerce. Cuando la presión del fluido es una preocupación, el relleno fluido debe ser colocado en capas, permitiendo que cada capa endurezca antes de colocar la siguiente. Este procedimiento se debe realizar cuando se debe contener material o cuando los objetos que flotan tales como tuberías están embebidos en el relleno fluido.

La fluidez puede variar desde rígido hasta fluido dependiendo de los requerimientos estipulados. Los intervalos de fluidez asociados con el ensayo de cono de Abrams pueden ser expresados así :

Tabla 1: Intervalos de Fluidez.

Baja fluidez:	6" o menos
Fluidez normal	entre 6" y 8"
Alta fluidez	más de 8"

Segregacion.

La separación de los constituyentes de la mezcla puede ocurrir a niveles muy altos de fluidez, cuando esta es ocasionada principalmente por la adición de agua, esta situación es parecida a la

que se presenta con algunas mezclas de concreto altamente fluidas. Haciendo una dosificación adecuada se puede obtener un alto grado de fluidez sin segregación.

A fin de obtener una alta fluidez sin segregación, se requieren finos adecuados que provean una buena cohesividad. Generalmente estos finos corresponden a las cenizas volantes, aunque se han utilizado limos u otros finos no cohesivos hasta en un 20% del total de los agregados. Se deben evitar los agregados finos plásticos como la arcilla, porque pueden producir resultados adversos como incremento de la retracción. (ACI 229R-99, p.7)

Contraccion.

La contracción, “tiene que ver con la reducción de volumen del relleno fluido, a medida que elimina el agua contenida y el aire atrapado a través de la consolidación de la mezcla.” (ACI 229R-99, p.7)

El agua en exceso empleada para dar fluidez, además de la requerida para consolidar e hidratar, es generalmente absorbida por el suelo de los alrededores o se elimina a través de la superficie como agua de exudación.

El valor típico de sedimentación se encuentra entre 1/8” y 1/4” por cada 12” de altura, este valor se encuentra generalmente para mezclas con alto contenido de agua. Las mezclas con menores contenidos de agua, poseen poca o ninguna contracción y los cilindros tomados para la evaluación de la resistencia, no experimentan cambio en su altura desde el momento de elaboración hasta el momento del ensayo.

Tiempo de fraguado.

El tiempo de fraguado, “es el periodo aproximado de tiempo requerido para que el relleno fluido pase del estado plástico, a un estado endurecido con suficiente resistencia para soportar el peso de una persona.” (ACI 229R-99, p.7)

Este tiempo está influenciado por la cantidad y velocidad de salida del agua, cuando este exceso de agua deja la mezcla, las partículas sólidas se alinean en contacto íntimo y la mezcla se vuelve rígida. El tiempo de fraguado depende en gran medida del tipo y calidad del cemento, los factores normales que afectan el tiempo de fraguado son:

- ✓ Tipo y cantidad de cemento
- ✓ Permeabilidad y grado de saturación del suelo de los alrededores que está en contacto con el Relleno Fluido
- ✓ La fluidez del Relleno Fluido
- ✓ La dosificación del Relleno Fluido
- ✓ Temperatura del ambiente y de la mezcla
- ✓ Humedad

Espesor del relleno.

“El tiempo de fraguado, puede ser tan corto como una hora, pero generalmente tarda de 3 a 5 horas bajo condiciones normales.” (ACI 229R-99, p,7)

Se puede realizar el ensayo de penetración de acuerdo con la ASTM C-403, para medir el tiempo de fraguado o la capacidad de soporte aproximada del relleno fluido. Dependiendo del tipo de aplicación, una penetración entre 500 psi y 1500 psi son adecuados para asegurar la capacidad de soporte.

Bombeo.

El relleno fluido puede ser bombeado, al igual que un concreto, la dosificación es un factor crítico. Los espacios vacíos deben ser llenados adecuadamente con partículas sólidas para proveer la cohesividad adecuada para el transporte a través de la línea de bombeo, bajo presión y sin segregación. Un llenado inadecuado de los espacios vacíos resulta en una mezcla que puede segregarse en la bomba y causar el taponamiento de la línea.

También es importante mantener un flujo continuo a través de la línea de bombeo, el flujo interrumpido causa segregación, la cual a su vez restringe el flujo y puede resultar en taponamiento.

El relleno fluido con alto contenido de aire retenido, puede ser bombeado aunque se debe tener la precaución de mantener las presiones de bombeo bajas. Un incremento en las presiones de bombeo puede causar pérdida en el contenido de aire reduciendo la capacidad de bombeo de la mezcla.

La capacidad de bombeo, se puede aumentar haciendo una buena dosificación que brinde un llenado adecuado de los espacios vacíos en la mezcla. Se puede adicionar cemento, para ayudar a la capacidad de bombeo actuando como microagregados, que llenan los espacios vacíos. Sin embargo, cuando se adicionan materiales cementantes se debe tener cuidado en limitar el nivel de resistencia máxima, si se considera una excavación futura. (ACI 229R-99, p.7)

2.2.2 PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO.

Resistencia (capacidad de soporte).

La resistencia a la compresión no confinada, es una medida de la capacidad del relleno fluido para distribuir cargas, una resistencia a compresión de 3.5 a 7 kg/ cm² es equivalente a la capacidad de soporte de un suelo bien compactado. (ACI 229R-99, p.7)

Los métodos de curado que se especifican para el concreto no son esenciales para el relleno fluido.

Para aquellos proyectos donde se requiere una futura excavación, se debe mantener la resistencia en un nivel bajo. Algunas mezclas continúan ganando resistencia con el tiempo haciendo difícil una futura excavación.

Las resistencias se pueden clasificar de acuerdo con su utilización :

Tabla 2: Clasificación de Resistencias.

Zanjas	5 kg/ cm ²
Bases de andenes	entre 10 y 20 kg/ cm ²
Bases de pavimentos	entre 21 y 83 kg/ cm ²

Densidad.

Los valores normales de densidad del relleno fluido, están en un intervalo de 1840 kg/ m³ a 2320 kg/ m³, los cuales son mayores que para la mayoría de los materiales compactados.

Utilizando otros agregados ligeros, cemento y agua se pueden obtener densidades entre 1440 kg/ m^3 y 1600 kg/ m^3 . (ACI 229R-99, p.8)

Contraccion.

“Cuando se utilizan materiales granulares compactados, normalmente se presentan asentamientos futuros, debido a deficiencias en los niveles de compactación.” (ACI 229R-99, p.8).

El relleno fluido no tiene asentamiento una vez se ha endurecido.

Aislamiento termico/conductividad.

Cuando se desea aislar, se debe diseñar la mezcla de manera que se obtenga baja densidad y alta porosidad, las mezclas convencionales con aire incluido tienen una menor densidad y poseen un mayor valor de aislamiento.

Se pueden emplear agregados livianos, incluyendo cenizas de fondo, para reducir la densidad. “Las mezclas espumadas o de celdas de aire tienen una muy baja densidad y exhiben buenas propiedades aislantes.” (ACI 229R-99, p.8)

Cuando se desea una alta conductividad térmica, como en el caso del relleno para cables de potencia enterrados, se busca tener una alta densidad y una muy baja porosidad (máxima área de contacto entre las partículas sólidas). A medida que el contenido de humedad y la densidad seca aumentan, también lo hace la conductividad. Otros parámetros a considerar, pero de menor importancia, incluyen la composición de minerales, forma y tamaño de las partículas, granulometrías, contenidos orgánicos y la gravedad específica.

Permeabilidad.

La permeabilidad de la mayoría de los rellenos fluidos excavables, es similar a la de los rellenos granulares compactados, los valores típicos se encuentran en el intervalo de $10^{-4} \text{ cm/ segundo}$ a $10^{-5} \text{ cm/ segundo}$. Las mezclas de relleno fluido con mayores resistencias y contenido de finos logran permeabilidades tan bajas como de $10^{-7} \text{ cm/ segundo}$.

La permeabilidad aumenta, a medida que el contenido de material cementante se reduce y el de agregados aumenta (particularmente por encima del 80 por ciento).

“Los materiales que se emplean para disminuir la permeabilidad, tales como arcilla bentonítica y tierras diatomáceas, pueden afectar otras propiedades y deben ser ensayados y aprobados antes de su aplicación.” (ACI 229R-99, p.8)

Retraccion (agrietamiento).

“La retracción o agrietamiento, no afecta el desempeño del relleno fluido. El encogimiento típico lineal está en el intervalo de 0.02 % a 0.05 %.” (ACI 229R-99, p.8)

Excavabilidad.

“La posibilidad de excavar el relleno fluido en etapas posteriores, es una consideración importante en muchos proyectos. En general, el relleno fluido con una resistencia a compresión de 3 kg/ cm² o menos, se puede excavar manualmente.” (ACI 229R-99, p.8)

Para resistencias a la compresión de 7 kg/ cm² a 14 kg/ cm², se deben utilizar equipos mecánicos tales como retroexcavadoras.

Tabla 3: Resistencias en excavaciones.

Resistencia.	Tipo de Excavación.
7 o menos Kg/cm ² .	Excavación manual.
Entre 7 y 21 Kg/cm ² .	Retroexcavadora.
Entre 21 y 83 Kg/cm ² .	Demolición tipo concreto.

Los límites de excavabilidad son arbitrarios, dependiendo de la mezcla de relleno fluido, las mezclas que emplean altas cantidades de agregados gruesos, pueden ser muy difíciles de remover manualmente aún con bajas resistencias.

Las mezclas con agregados de relleno de sólo arena fina, pueden ser excavadas con retroexcavadora aún si la resistencia es de 21 kg/cm^2 . Cuando existe la preocupación de una excavación en el futuro, el tipo y cantidad de cemento es importante.

Se ha obtenido un desempeño a largo plazo aceptable, con contenidos de cemento de 24 kg/m^3 hasta 60 kg/m^3 . Cuando no se desea un incremento de la resistencia a largo plazo, el contenido de cal viva en las cenizas volantes por encima del 10 % en peso puede no ser conveniente.

Dado que el relleno fluido continuará ganando resistencia más allá del periodo de prueba convencional de 28 días, se sugiere, especialmente cuente con un alto contenido de cemento, y que se realicen ensayos a mayores edades para estimar la excavabilidad potencial en el futuro. A fin de mantener una baja resistencia a compresión se puede, además de limitar el contenido de cemento, utilizar aditivos inclusores de aire puede ser una buena opción.

2.2.3 VENTAJAS DEL RELLENO FLUIDO.

- ✓ **Disponibilidad** - Empleando materiales disponibles localmente, los proveedores de concreto pueden producir Relleno fluido que cumpla con la mayoría de las especificaciones de proyecto.
- ✓ **Fácil entrega** - Los mezcladores de camión pueden entregar cantidades específicas en el lugar de trabajo cuando requiera que el material se necesite.
- ✓ **Permite rápida puesta en servicio** - Dado que muchos tipos de Relleno fluido pueden ser colocado rápidamente y soportan cargas de tráfico en pocas horas el tiempo fuera de servicio para reparación de pavimentos es mínimo.
- ✓ **No se asienta** - El Relleno fluido no deja espacios vacíos durante la colocación y no se asienta bajo la acción de cargas. Esto es especialmente significativo si el relleno va a ser cubierto por una sobre capa de pavimento. El suelo o relleno granular, si no se consolida apropiadamente puede asentarse después de que la losa de pavimento ha sido colocada, formando grietas en la vía.

- ✓ **Fácil de colocar** - Dependiendo del tipo y colocación del espacio vacío a ser llenado, el Relleno fluido puede ser colocado por medio de rampas, banda transportadora, bomba o balde. Dado que el Relleno fluido es autonivelante necesita ser esparcido o compactado. Esto aumenta la velocidad de construcción y reduce los requerimientos de mano de obra.
- ✓ **Versatilidad** - Los diseños de mezcla de Relleno fluido pueden ser ajustados para cumplir con los requerimientos de relleno específicos. Las mezclas pueden ser ajustadas para mejorar la fluidez. Se puede adicionar más cemento o cenizas volantes para incrementar la resistencia. Los aditivos pueden ser adicionados para ajustar los tiempos de asentamiento y otras características de desempeño. La adición de agentes espumantes al Relleno Fluido produce un relleno ligero y aislante.
- ✓ **Resistencia y Durabilidad** - Las capacidades portantes del Relleno Fluido son mayores que aquellas del suelo compactado o del relleno granular. Además, el Relleno Fluido es menos permeable y por lo tanto más resistente a la erosión. Para uso como relleno estructural permanente el Relleno fluido puede ser diseñado para alcanzar una resistencia a compresión a 28 días de 83 kg/cm^2 .
- ✓ **Puede ser Excavado** - El Relleno fluido con resistencias de 3 a 7 kg/cm^2 pueden ser fácilmente excavados con equipos convencionales siendo de todas maneras lo suficientemente fuerte para la mayoría de necesidades de relleno.
- ✓ **Requiere menos Inspección** - Durante la colocación, el relleno del suelo debe ser ensayado en cada capa para verificar que la compactación sea suficiente. El Relleno Fluido se autocompacta consistentemente y no necesita grandes ensayos de campo.
- ✓ **Reduce costos de excavación** - El Relleno fluido permite zanjas más estrechas puesto que elimina la necesidad de ampliarlas para acomodar el equipo de compactación.
- ✓ **Mejora la seguridad de los Operarios** - Los trabajadores pueden colocar el Relleno fluido en una zanja sin entrar en ella, reduciendo su exposición a posibles derrumbes.
- ✓ **Permite construcción en todos los Climas** - El Relleno fluido desplazará el agua que se encuentre en la zanja después de lluvia o deshielo, reduciendo la necesidad de utilización de bombas para la extracción del agua. Para colocar el Relleno fluido en clima frío se debe calentar el material usando el mismo método de calentamiento para el concreto mezclado.

- ✓ **Reduce las necesidades de equipo** – A diferencia del relleno de suelo granular el Relleno fluido puede ser colocado sin necesidad de cargadores y compactadores.
- ✓ **No requiere almacenamiento** – “El almacenamiento del material en el lugar es innecesario dado que los camiones mezcladores proveen el material en la cantidad necesaria. Además, no hay desperdicios de relleno para botar”. (ACI 229R-99, p.3)

2.3 MEZCLADO, TRANSPORTE Y APLICACION.

Generalidades.

El mezclado, transporte y aplicación del relleno fluido sigue generalmente los métodos y procedimientos dados en la ASTM C-94, como en el ACI 304. Sin embargo, otros métodos son aceptables si se cuenta con la experiencia y datos de desempeños previos. Sin importar los métodos y procedimientos usados, el criterio principal es que el relleno fluido sea uniforme, consistente y que cumpla con los requisitos del proyecto. (ACI 229R-99, p.9)

Mezcla.

El relleno fluido, se produce en plantas de concreto premezclado y se transporta en camiones mezcladores y/ o agitadores. La dosificación y comercialización del relleno fluido se debe realizar por peso y no por volumen, similar a lo utilizado para el concreto. (Vilar Sanchez, 2019, P.33)

Transporte.

“Las mezclas de relleno fluido se transportan en camiones mezcladores, se requiere que la mezcla, sea agitada constantemente durante el transporte y tiempo de espera para mantener el material en suspensión.” (Vilar Sanchez, 2019, P.33)

Bajo algunas circunstancias el relleno fluido ha sido transportado en distancias cortas sin equipo de agitación en volquetas. Los camiones agitadores aunque proveen alguna acción de mezclado no previenen el asentamiento del material sólido.

Ademas, el relleno fluido ha sido transportado eficientemente por bombeo y por banda transportadora.

Colocación.

“El relleno fluido, puede ser colocado por medio de una rampa, bandas, baldes, o bombas dependiendo de la aplicación y accesibilidad. No se requiere vibración interna ni compactación puesto que el relleno fluido se consolida bajo su propio peso.” (Vilar Sanchez, 2019, P.34)

Para rellenar zanjas, el relleno fluido se aplica de manera continua, para contener el relleno fluido cuando se están rellenando zanjas, por etapas o estructuras con extremos abiertos, los extremos pueden ser bloqueados con formaletas, sacos de arena, barreras de arena o mezclas rígidas hasta que endurezca.

Para las camas de tuberías, este puede ser aplicado en capas para prevenir que la tubería flote, se debe dejar que cada capa endurezca antes de aplicar la siguiente. Otros métodos de prevenir la flotación incluyen, la colocación de sacos de arena sobre la tubería, cintas alrededor de la tubería para anclarla al suelo o el uso de relleno fluido de rápida colocación, ubicado en lugares estratégicos sobre la tubería.

El relleno fluido no es autosoportante y adiciona carga sobre la tubería, cuando se tienen tuberías largas y flexibles, el relleno fluido debe ser aplicado en capas, para que se desarrolle un soporte lateral a lo largo de la tubería antes de ser colocado, fresco sobre la tubería. El relleno de muros de contención también requiere que el relleno fluido sea colocado en capas de modo que se prevenga una sobrecarga del muro.



Ilustración 11: Relleno Fluido colocado en capas.

El Relleno Fluido, se puede colocar directamente sobre el agua sin que ocurra segregación, en áreas confinadas, desplaza el agua hacia la superficie donde puede ser removida fácilmente. Dada su alta fluidez, el relleno puede fluir grandes distancias para llenar espacios vacíos y cavidades, localizadas en lugares de difícil acceso. Los espacios vacíos no necesitan limpieza pues la lechada llena las irregularidades y encapsula cualquier material suelto.

2.4 CONTROL DE CALIDAD.

Generalidades.

La extensión del programa de control de calidad para relleno fluido, varía de acuerdo con la experiencia previa, aplicación, materia prima y nivel de calidad deseado.

“Un programa de control de calidad puede ser, tan simple como una inspección visual de todo el trabajo cuando se emplean mezclas normalizadas y ensayadas.” (Vilar Sanchez, 2019, P.38)

Cuando se hace una aplicación crítica, los materiales no están normalizados o cuando la uniformidad del producto es cuestionada, es apropiado efectuar ensayos de consistencia y resistencia.

Las propiedades tanto en servicio, como en la mezcla pueden ser medidas para evaluar la consistencia y desempeño de la mezcla. En la gran mayoría de proyectos, el relleno fluido se ensaya previamente, utilizando las materias primas para desarrollar un diseño de mezcla que tenga ciertas características plásticas (fluidez, consistencia, peso unitario) y de fraguado (resistencia, durabilidad, permeabilidad).

Una vez realizado el programa de ensayo inicial, los ensayos en campo pueden consistir en simples inspecciones visuales o pueden incluir mediciones de consistencia o ensayos de resistencia a compresión. Es responsabilidad del productor, determinar un programa apropiado que asegure que el producto sea adecuado para el uso que se requiere. Los siguientes procedimientos y métodos de ensayo han sido utilizados para evaluar las mezclas de relleno fluido.

2.5 CONSISTENCIA.

Consistencia y Masa Unitaria.

“Dependiendo de los requerimientos de aplicación y colocación, las características de flujo pueden ser importantes. La consistencia del relleno puede variar considerablemente desde plástico a fluido; por lo tanto se pueden realizar varios métodos de medición.” (ACI 229R-99, p. 11)

La mayoría de las mezclas relleno fluido se desempeñan bien, bajo condiciones variables de flujo y masa unitaria.

Ensayos de resistencia.

El Relleno Fluido se puede utilizar en una gran variedad de aplicaciones, que requieren diferentes características de soporte de carga. Se deben identificar las cargas máximas que deberá soportar, para poder determinar los requisitos mínimos de resistencia. Sin embargo en muchos casos el relleno fluido debe ser limitado en su resistencia máxima, sobretodo, cuando se requiere una futura excavación o remoción del material. (ACI 229R-99, p.12)

La resistencia del Relleno Fluido puede ser medida por varios métodos, los más comunes son los ensayos de resistencia a compresión no confinada; sin embargo otros métodos tales como el penetrómetro o los ensayos de "plato de carga" se pueden utilizar.

Los especímenes para el ensayo pueden variar en tamaño desde cubos de 2" x 2" hasta cilindros de 6" x 12".

Es necesario tener especial cuidado al remover las mezclas de Relleno Fluido de muy baja resistencia de los moldes de ensayo.

Tabla 4: Ensayos para resistencia del relleno fluido.

CODIGO	DESCRIPCION
ASTM C-403	Tiempo de fraguado de mezclas de concreto por resistencia a la Penetración.

ASTM D-4832	Preparación y ensayo de cilindros de Materiales de Resistencia Baja Controlada.(este ensayo es usado para fundir cilindros y determinar la resistencia a compresión del RF endurecido).
ASTM D-1196	Ensayo no repetitivo de carga sobre plato estático de suelos y componentes de pavimento flexible para uso en la evaluación y diseño de pavimentos para aeropuertos y autopistas. (este ensayo es usado para determinar el módulo de reacción los estratos del terreno (K).
ASTM D-4429	Relación de soporte de suelos colocados. (este ensayo se usa para determinar la resistencia relativa del Relleno Fluido colocado).

2.6 PROCESO DE ELABORACION Y GENERACION DE RESIDUOS DE CONCRETO.

2.6.1 PRODUCCION DE CONCRETO Y SU IMPORTANCIA MEDIOAMBIENTAL.

A continuación, se presenta una reseña sobre la producción de concreto ASTM C-94 “Especificación Estándar del Concreto Premezclado”:

El proceso de producción inicia con una programación y una logística de despacho, los cuales envían las instrucciones del tipo de concreto (Diseño) y el volumen a suministrar a un determinado destino (Dirección del envío), previamente a ejecutar la orden de carga, el responsable de operar el equipo automatizado, realiza la alimentación de los datos de las condiciones de los constituyentes que se requieren, para que el equipo realice las correcciones del proporcionamiento del diseño, para el caso de la planta que se toma de base para la investigación es del tipo de Dosificadora (el camión es el mezclador) ya que también existen plantas de concreto de Mezclador (el camión recibe el concreto ya mezclado).

El cemento, agua, aditivos, áridos grueso, áridos finos y algunos materiales suplementarios se introducen en una secuencia definida al camión mezclador, el cual se encuentra en modo de operación de mezclado, transcurrido un tiempo y/o revoluciones especificadas contendrá en su interior una mezcla homogénea y lista para entrega, dando paso a la toma de muestra que es el primer filtro de control de calidad interno, el cual verifica las propiedades iniciales para su envío, posteriormente se le entrega al operador del mezclador una guía de despacho con todas las características específicas y generales del producto, así como también las del suministrado y dirección de entrega.

Completando el cierre del ciclo y describiendo lo que sucede con el camión mezclador enviado, este regresa a planta, pero también es de aclarar que, en algunas ocasiones este no se envía cuando se considera producto no conforme, cuando se reciben de otras plantas sobrantes, ya sean rechazos del tipo administrativo u operacionales, esto debido a la cercanía de la disposición ya que este producto es perecedero, y así comienza la generación de desechos sólidos.

Así que la producción de concreto premezclado, siendo uno de los materiales más consumido en la industria de la construcción, está completamente expuesto y relacionado a problemas asociados al medio ambiente.

Para tener una visión general sobre este problema y su impacto medioambiental se presentarán un resumen correspondiente estudio de desechos sólidos y su disposición final, el resumen de desechos sólidos, de tres meses de seguimiento correspondiente a la planta de estudio Holcim RMX, Planta Santa Tecla, Holcim que es referente a nivel regional y mundial con un alto grado de compromiso social, así como también de la sustentabilidad circular.

Tabla 5: Clasificación de Actividades.

Procesos Internos		
Manejo de aridos.	Polvo, Acustica.	Control de emision de aire y acustica.
Manejo de cementos.		
Movimiento de vehiculos y equipos.		

Salida de mezcladores.		
Lavado de equipos.	Desechos liquidos y solidos.	Control de desechos liquidos, disposicion de solidos.

Subdivisión de problemas ambientales:

- ✓ Concreto residual
- ✓ Concreto no conforme
- ✓ Concreto devueltos
- ✓ Concreto rechazados
- ✓ Sobrantes de concretos

El proceso diario de la disposición final de los concretos retornados desechados en planta, se inicia en horas con una reducción del tamaño del acopio de concreto a tamaño conveniente para transportarlo con camión de volteo, dicha actividad de reducción la realiza un cargador frontal, que posteriormente se encarga de colocar a disponibilidad del transporte el flete con destino a la cantera de trituración, se envía un comprobante del desalojo con el número de la unidad y el volumen que contiene que posteriormente se revisa y se archiva a su llegada.



Ilustración 12: Concreto retornado a planta.

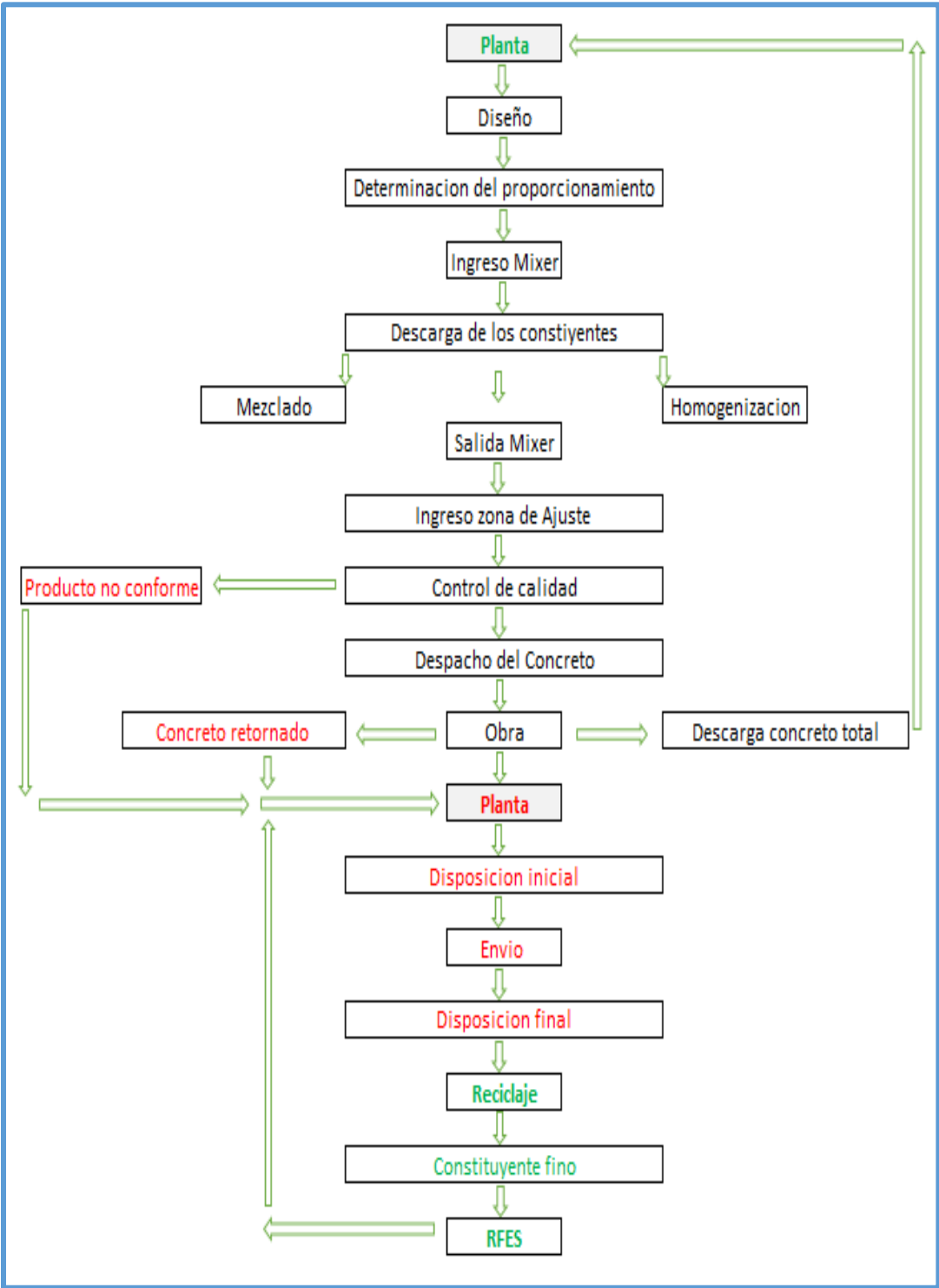


Ilustración 13: Proceso de reducción de material retornado.



Ilustración 14: Disposición final del material retornado.

Flujograma concreto retornado a constituyente RFES (Sustentabilidad circular)



2.7 RESUMEN DE DESECHOS SOLIDOS.

El presente resumen se basa en una muestra de seguimiento, de tres meses en la cual se detallan las cantidades de desechos de concreto retornado y producto no conforme en estado plástico, que posteriormente se envía a disposición final.

Tabla 6: Cuantificación material retornado a planta septiembre 2024.

FECHA	CLIENTE	PROYECTO	CODIGO	M3	EQUIPO	SOBRANTE/ RECHAZO
02/09/2024	INMUEBLES	TORRE NEST	10028405	3.00	1155	SOBRANTE
02/09/2024	CORPORACION BURGO DE OSMAN	BODEGAS BURGO	10062526	7.00	1149	RECHAZO
02/09/2024	OMNI	VMT/ MOP	10059813	1.00	1150	SOBRANTE
02/09/2024	CONSTRUCCIONES NABLA	INDIGO	10057234	8.00	1150	RECHAZO
02/09/2024	CONSTRUCCIONES NABLA	INDIGO	10057236	7.00	1126	RECHAZO
02/09/2024	CONSTRUCCIONES NABLA	INDIGO	10057239	2.00	1126	SOBRANTE
02/09/2024	DUEÑAS HERMANOS	PUERTA DEL ALMA III	10068504	3.00	1133	SOBRANTE
02/09/2024	CONSTRUCCIONES NABLA	PRICESMART S.S	10076955	3.00	1133	SOBRANTE
03/09/2024	CORPORACION BURGO DE OSMAN	BODEGAS BURGO	10062526	1.00	1159	SOBRANTE
03/09/2024	NABLA	PRICESMART S.S	10056392	9.00	1155	SOBRANTE
04/09/2024	DUEÑAS HERMANOS	PUERTA DEL ALMA III	10062931	4.00	1156	SOBRANTE
04/09/2024	INMUEBLES	TORRE NEST	10053942	3.00	1133	SOBRANTE
05/09/2024	SANTA EMILIA	EX AUTOMOTEL SEÑORIAL	10029418	1.00	1163	SOBRANTE
05/09/2024	DUEÑAS HERMANOS	PUERTA DEL ALMA III	10062931	0.50	1137	SOBRANTE
05/09/2024	740 CONSTRUCTION	EMBAJADA	10077213	3.00	1127	SOBRANTE
06/09/2024	CROMAYER	N/R	10031884	0.75	1142	SOBRANTE
07/09/2024	NABLA	INDIGO	10062270	1.50	1163	SOBRANTE
10/09/2024	PRISMA DE CENTROAMERICA	CC EL ENCuentRO	10053924	2.00	1129	SOBRANTE
11/09/2024	INVERSIONES OMNI	CENTRO DE MONITOREO VMT	10056033	8.00	1150	SOBRANTE
11/09/2024	INVERSIONES OMNI	CENTRO DE MONITOREO VMT	10056033	7.00	1127	SOBRANTE
11/09/2024	INVERSIONES OMNI	CENTRO DE MONITOREO VMT	10059813	1.50	1127	SOBRANTE
12/09/2024	CIWING	TORRE NU	10029420	1.50	1127	SOBRANTE
12/09/2024	POASA	CALLE HOLCIM PARQUEO ANEXO	10055550	1.50	1142	SOBRANTE
12/09/2024	INVERSIONES OMNI	CENTRO DE MONITOREO VMT	10059813	3.50	1151	SOBRANTE
13/09/2024	CONSTRUCTORA EL SALVADOR	DOM. HOSPITAL ROSALES	10031164	2.00	1150	SOBRANTE
13/09/2024	INVERSIONES OMNI	CENTRO DE MONITOREO VMT	10059813	1.00	1124	SOBRANTE
13/09/2024	INVERSIONES OMNI	EDIFICIO FORMACION CALLE IZALCO	10050234	1.50	1163	SOBRANTE
13/09/2024	HOSPITAL INTERNACIONAL	COL. ESCALON SAN SALVADOR	10031023	8.00	1149	SOBRANTE
14/09/2024	CONSTRUCTORA EL SALVADOR	DOM. HOSPITAL ROSALES	10031164	1.00	1129	SOBRANTE
14/09/2024	CONSTRUCTORA MECO	BOVEDA AV. LAS AMAPOLAS	10074910	4.00	1130	SOBRANTE
17/09/2024	CONSTRUCTORA EL SALVADOR	HULA HULA	10079629	1.50	1142	SOBRANTE
17/09/2024	CONSTRUCTORA EL SALVADOR	25 AV SUR H. ROSALES	10031164	1.00	1126	SOBRANTE
17/09/2024	DESAROLLOS DE ALTURA	BUENA VISTA	10068500	6.00	1142	SOBRANTE
18/09/2024	NABLA	INDIGO	10062199	2.00	1163	SOBRANTE
18/09/2024	OMNI	FISCALIA	10069504	1.50	1142	SOBRANTE
19/09/2024	METALMECANICAS	SAN MIGUELITO	10056646	5.50	1124	RECHAZO
19/09/2024	HERITAGE DEVELOPMENT	TORRE 8	10055550	1.00	1142	SOBRANTE
20/09/2024	740 CONSTRUCTION	EMBAJADA	10031022	1.00	1155	SOBRANTE
20/09/2024	INMUEBLES DE EL SALVADOR	TORRE ALTURAS 900	10054786	1.00	1127	SOBRANTE
20/09/2024	GEOCIMTEC	LOS CHORROS	10029480	3.00	1156	SOBRANTE
21/09/2024	INGENIEROS CIVILES	COMASAGUA	10079137	1.50	1127	SOBRANTE
23/09/2024	NABLA	INDIGO	10062270	4.00	1122	SOBRANTE
24/09/2024	POASA	CALLE HOLCIM PARQUEO ANEXO	10052059	10.00	1127	RECHAZO
25/09/2024	740 CONSTRUCTION	EMBAJADA	10077212	3.00	1152	RECHAZO
25/09/2024	INVERSIONES OMNI	CENTRO DE MONITOREO VMT	10028415	1.00	1130	RECHAZO
25/09/2024	INVERSIONES OMNI	CENTRO DE MONITOREO VMT	10028415	1.00	1155	RECHAZO
25/09/2024	INVERSIONES OMNI	INGRESO POR XCHICALI	10078714	1.00	1149	SOBRANTE
26/09/2024	INVERSIONES BRIKO	PORTALES DEL BOSQUE	10042590	3.00	1158	SOBRANTE
26/09/2024	CONTRUCCIONES NABLA	TORRE INDIGO	10062270	0.75	1158	SOBRANTE
26/09/2024	INVERSIONES BRIKO	PORTALES DEL BOSQUE	10042590	0.50	1163	SOBRANTE
27/09/2024	NABLA	INDIGO	10062270	8.00	1120	SOBRANTE
27/09/2024	NABLA	INDIGO	10062270	8.00	1154	SOBRANTE
28/09/2024	CONSTRUCTORA EL SALVADOR	CENTRO HISTORICO	10079629	7.00	1163	SOBRANTE
28/09/2024	CIWING	TORRE NU	10029448	1.00	1130	SOBRANTE
29/09/2024	DONGBU	VIADUCTO LOS CHORROS	10031584	7.00	1158	SOBRANTE
29/09/2024	DONGBU	VIADUCTO LOS CHORROS	10031584	5.00	1163	SOBRANTE
29/09/2024	DONGBU	VIADUCTO LOS CHORROS	10031584	3.00	1133	SOBRANTE
30/09/2024	NABLA	INDIGO	10062270	8.00	1150	RECHAZO
30/09/2024	740 CONSTRUCTION	EMBAJADA	10077212	1.50	1127	SOBRANTE

Tabla 7: Cuantificación material retornado a planta octubre 2024.

FECHA	CLIENTE	PROYECTO	CODIGO	M3	EQUIPO	SOBRANTE/ RECHAZO
01/10/2024	POASA	CALLE HOLCIM PARQUEO ANEXO	10055550	1.50	1146	SOBRANTE
	POASA	CALLE HOLCIM PARQUEO ANEXO	10055550	0.50	1120	SOBRANTE
02/10/2024	INMUEBLES	TORRE ALTURAS 900	10054786	1.00	2049	SOBRANTE
	740 CONSTRUCTION	EMBAJADA	10081022	4.00	1120	SOBRANTE
	GEOCIMTEC	VIADUCTO LOS CHORROS	10029484	7.00	1149	RECHAZO
03/10/2024	RODIO SWISSBORING	CARR. AL PUERTO RESIDENCIAL CANARIA	10035547	7.00	1129	RECHAZO
	RODIO SWISSBORING	CARR. AL PUERTO RESIDENCIAL CANARIA	10035547	4.50	1150	RECHAZO
	CONCEPTO CERO	PLAYA EL ZONTE	10077351	6.50	1129	RECHAZO
03/10/2024	PROMOCION Y DISTRIBUCION	PALACIO DE LOS DEPORTES INDES	10077357	10.00	1155	SOBRANTE
4/10/2024	CONSTRUCTORA EL SALVADOR	MERCADO HULA HULA	10079629	4.00	1163	SOBRANTE
	CONCEPTO CERO	PLAYA EL ZONTE	10081939	0.50	1149	SOBRANTE
	CONSTRUCCIONES NABLA	TORRE INDIGO	10062270	1.00	1127	SOBRANTE
05/10/2024	CONSTRUCCIONES NABLA	TORRE INDIGO	10028615	6.50	1120	SOBRANTE
	OMNI	FISCALIA	10054786	2.50	1120	SOBRANTE
07/10/2024	INMUEBLES	TORRE ALTURAS 900	10054786	0.50	1163	SOBRANTE
08/10/2024	INMUEBLES	LOMAS 500	10028605	3.00	1137	SOBRANTE
	TT CONTRATISTAS	PAVIMENTACION DE CALLES EN HUIZUCAR	10079032	0.50	1127	SOBRANTE
	CIVING	TORRE NU LOMAS DE SAN FRANCISCO	10029420	1.00	1137	SOBRANTE
09/10/2024	CIVING	TORRE NU LOMAS DE SAN FRANCISCO	10029420	0.25	1158	SOBRANTE
	OMNI	EDIFICIO DE FORMACION CALLE IZALCO	10076760	0.50	1163	SOBRANTE
10/10/2024	740 CONSTRUCTION	EMBAJADA	10081022	1.00	1151	SOBRANTE
11/10/2024	DESARROLLOS URBANOS	EL ZONTE	10031827	1.00	1149	SOBRANTE
	CONCEPTO CERO	PLAYA EL ZONTE	10081939	1.00	1088	SOBRANTE
11/10/2024	CIVING	TORRE NU LOMAS DE SAN FRANCISCO	10029448	4.00	1124	SOBRANTE
11/10/2024	SOLUCIONES DE ING	HOSPITAL EL SALVADOR	10078548	1.00	1088	SOBRANTE
11/10/2024	NABLA	TORRE INDIGO	10062270	8.50	1145	RECHAZO
	NABLA	TORRE INDIGO	10062270	4.00	1149	SOBRANTE
12/10/2024	R&C.CONSTRUCTORA	EL TABLON CHALATENANGO	10075951	7.00	1132	RECHAZO
15/10/2024	FHC INGENIEROS	CC LA GRAN VIA	10028583	2.00	1124	SOBRANTE
16/10/2024	PRISMA DE CENTROAMERICA	VIDRI LAS PILETAS	10076932	1.00	1149	SOBRANTE
	NABLA	TORRE INDIGO	10062270	2.00	1151	SOBRANTE
17/10/2024	740 CONSTRUCTION	EMBAJADA	10077212	1.00	1153	SOBRANTE
	INVERSIONES CROMMEYER	TORRE ELITE CALLE EL CARMEN	10052059	1.00	1163	SOBRANTE
	RAMOS JEREZ CONSTRUCTORES	CALLE PLANES DE RENDEROS	10029480	0.75	1127	SOBRANTE
18/10/2024	INMUEBLES	LOMAS 500	10028605	4.00	1127	SOBRANTE
	CONSTRUCTION SOCIEDAD ANONIV	EMBAJADA	10077212	1.50	1163	SOBRANTE
19/10/2024	740 CONSTRUCTION	EMBAJADA	10081022	0.75	1156	SOBRANTE
21/10/2024	DESARROLLOS URBANOS	EL ZONTE	10029447	8.00	1129	RECHAZO
	OMNI	ADMINISTRATIVO CALLE IZALCO	10050234	1.50	2020	SOBRANTE
	INVERSIONES CROMMEYER	TORRE ELITE CALLE EL CARMEN	10031884	6.00	1145	SOBRANTE
	NABLA	TORRE ARIA	10076763	4.00	1163	SOBRANTE
	LOPEZ HURTADO	BLVD. DEL HIPODROMO	10028583	2.00	1151	SOBRANTE
26/10/2024	740 CONSTRUCTION	EMBAJADA	10077212	7.00		SOBRANTE
	F. MORALES	RES. EL ENCANTO	10054787	4.00		RECHAZO
28/10/2024	DISEÑOS Y PROYECTOS	COLONIA SAN FRANCISCO S.S	10052788	1.00	1163	SOBRANTE
29/10/2024	ALGASA	RES. LA FLORIDA SERRA 2 CASA 45	10073966	1.50	1146	SOBRANTE
	DUEÑAS HERMANOS	PUERTA DEL ALMA III	10054575	1.00	1159	SOBRANTE
	INMUEBLES	CC MONTELUIMA AUTOPISTA COMALAPA		7.00	1163	RECHAZO
TOTAL SOBRANTES			87.25			
TOTAL RECHAZOS			59.5			
TOTAL ACUMULADO			146.75			

Tabla 8: Cuantificación material retornado a planta noviembre 2024.

FECHA	CLIENTE	PROYECTO	CODIGO	M3	EQUIPO	SOBRANTE/ RECHAZO
02/11/2024	ASOCIACION LOS SUEÑOS	EL ENCANTO	10068500	5.00	1142	SOBRANTE
04/11/2024	GEOCIMTEC	AUTOPISTA COMALAPA	10023480	6.00	1127	SOBRANTE
06/11/2024	NABLA	GARDEN TOWER SANTO TOMAS	10028601	1.00	1136	SOBRANTE
	RODIO SWISSBORING	RESIDENCIAL CANARIA	10035547	0.25	1155	SOBRANTE
	PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA	ANTIGUO CUSCATLAN	10033306	7.00	1143	SOBRANTE
	HOSPITAL INTERNACIONAL	COL. ESCALON	10077782	1.00	1136	SOBRANTE
7/11/2024	CONSTRUCTORA EL SALVADOR	HOSPITAL ROSALES	10081510	8.00	1143	RECHAZO
	HERITAGE	TORRE 8	10082303	2.00	1163	SOBRANTE
08/11/2024	CONSTRUCTORA EL SALVADOR	HOSPITAL ROSALES	10081510	4.00	1143	SOBRANTE
	SOLUCIONES DE INGENIERIA	HOSPITAL EL SALVADOR PORTON 1	10070391	3.00	1150	SOBRANTE
09/11/2024	740 CONSTRUCTION	EMBAJADA	10077212	2.00	1127	SOBRANTE
	CONSTRUCTORA EL SALVADOR	HOSPITAL ROSALES	10081164	0.40	1155	SOBRANTE
11/11/2024	RODIO SWISSBORING	RESIDENCIAL CANARIA	10035547	1.00	1155	SOBRANTE
	NU DEVELOPMENTS	NU LOMAS CALLE 5	10028775	2.50	1120	SOBRANTE
	ALGASA	NVO. CUSCA RES. LA FLORIDA	10073966	1.00	1153	SOBRANTE
	POASA	BODEGA ARSOL	10065302	1.00	1146	SOBRANTE
13/11/2024	NABLA	TORRE ARIA 75	10028777	5.00	1127	SOBRANTE
15/11/2024	HERITAGE	TORRE 8	10081340	3.50	1133	SOBRANTE
	740 CONSTRUCTION	EMBAJADA	10081022	1.50	1146	SOBRANTE
16/11/2024	PROYECTOS LL	BIMBO BOULEVAR DE ACERO SANTA TE	10068500	1.00	1124	SOBRANTE
18/11/2024	NU DEVELOPMENTS	LOMAS DE SAN FRANCISCO	10028775	2.00	1153	SOBRANTE
	NU DEVELOPMENTS	LOMAS DE SAN FRANCISCO	10028775	5.00	1167	SOBRANTE
19/11/2024	OMNI	CENTRO DE MONITOREO	10023448	0.50	1163	SOBRANTE
	GALMACO	COL. SAN FRANCISCO	10028583	1.00	1167	SOBRANTE
	GALMACO	COL. SAN FRANCISCO	10028583	1.50	1166	SOBRANTE
20/11/2024	NABLA	TORRE ARIA 75	10076763	1.00	1163	SOBRANTE
	LOPEZ HURTADO	ESPACIO BLVD DEL HIPODROMO	10068504	0.50	1167	SOBRANTE
	INVERSIONES MENDEZ MILLER	CALLE LA MASCOTA	10082302	3.00	1127	SOBRANTE
21/11/2024	RODIO SWISSBORING	RESIDENCIAL CANARIA	10035547	6.00	1167	RECHAZO
	OMNI	CENTRO DE MONITOREO	10028825	0.50	1167	SOBRANTE
	POASA	CALLE HOLCIM, PARQUEO ANEXO	10053329	0.50	1153	SOBRANTE
	740 CONSTRUCTION	EMBAJADA	10077212	0.50	1153	SOBRANTE
22/11/2024	PROYECTOS MODULARES	MEJICANOS, COMUNIDAD 13 DE ENERO	10043962	1.00	1163	SOBRANTE
	GEOCIMTEC	PLANES DE RENDEROS	10023480	4.00	1153	SOBRANTE
	NABLA	INDIGO	10062199	8.50	1140	RECHAZO
25/11/2024	INMUEBLES	LOMAS 500	10067803	2.00	1167	SOBRANTE
	OMNI	FISCALIA	10068500	1.50	1163	SOBRANTE
	OMNI	FISCALIA	10068500	1.50	1127	SOBRANTE
26/11/2024	ALGASA	RESD. LA FLORIDA NVO. CUSCATLAN	10073966	0.50	1158	SOBRANTE
	OMNI	FISCALIA	10068500	3.50	1133	SOBRANTE
	CIVING	TORRE NU	10052053	2.50	1167	SOBRANTE
	CHACON BORJA SA DE CV	ZARAGOZA LAS LUCES	10068500	2.00	1120	SOBRANTE
	SOLUCIONES DE INGENIERIA	HOSPITAL DE EL SALVADOR PORTON 1	10078548	2.50	1130	SOBRANTE
	OMNI	FISCALIA	10068500	2.00	1151	SOBRANTE
	OMNI	FISCALIA	10052059	0.50	1167	SOBRANTE
29/11/2024	OMNI	FISCALIA	10068500	0.50	1163	SOBRANTE
	INMUEBLES	TORRE NEST	10028601	1.50	1158	SOBRANTE
	ALGASA	RESD. LA FLORIDA NVO. CUSCATLAN	10073966	2.00	1124	SOBRANTE
	OMNI	FISCALIA	10068500	1.00	1166	SOBRANTE
	KALISA	TORRE KALISA	10082237	0.50	1165	SOBRANTE
30/11/2024	OMNI	CENTRO DE MONITOREO	10023576	4.00	1166	SOBRANTE
	OMNI	CENTRO DE MONITOREO	10023576	5.00	1173	SOBRANTE
TOTAL SOBRANTES			102.15			
TOTAL RECHAZOS			22.5			
ACUMULADO TOTAL			124.65			

Suma de acumulado total durante los tres meses 469.40 m³, listo para disposición final.

Por otra parte, en cuanto a los aspectos de la investigación, en primer orden es disminuir su impacto al medio ambiente y buscar una relación directa con la economía de los procesos involucrados, con el reciclaje de los concretos retornados y productos de concretos desechados de la construcción, lo cual da paso al constituyente, que formara parte del producto final, buscando reemplazar una parte de las materias primas vírgenes con escasas y/o alteración de la naturaleza.

Sobre esta situación, la condición de la extracción de los áridos naturales es particularmente delicada, ya que conlleva a la inversión de múltiples recursos, entre ellos podemos mencionar: permisos medioambientales, seguridad, equipo y maquinaria especializada, recurso humano idóneo, transporte, etc., esto conlleva al encarecimiento de una serie de actividades involucradas en los procesos para la preparación de los constituyentes que cumplan con ciertos requisitos para la elaboración de productos concretos, para el caso de los Materiales de Resistencia Baja Controlada (MRBC), los constituyentes para este producto no son tan restrictivo, en cuanto a sus requisitos para su uso, se adecua en base a sus propiedades físicas y a las solicitudes que demandan las estructuras en las obras de construcción.

En cuanto a la gama de alternativas que se exponen, específicamente si hablamos de sustituir áridos finos o materiales puzolánicos por áridos finos reciclados, es una práctica común a nivel mundial y una tendencia para el cuidado del medio ambiente, con suficiente experiencia para ser regularizado, de los cuales podemos mencionar la granulometría y los porcentajes de reemplazo, así como también las propiedades de aporte de este tipo de árido cuando se utiliza en los Materiales de Resistencia Baja Controlada.

2.8 IMPACTO AMBIENTAL Y BENEFICIOS AL MEDIO AMBIENTE CON LA UTILIZACION DE LOS RESIDUOS DE CONCRETO.

La alta inversión en infraestructura del sector público y privado ha generado un incremento en los últimos años en la producción de concreto en El Salvador, las estadísticas muestran un aumento en la producción de concreto, de lo que se deduce una mayor demanda en la utilización de materiales y la generación de un mayor volumen en los residuos de construcción, demolición, retornado y sobrantes, etc., lo cual genera un alto impacto al medio ambiente.

Aquí se muestra, como en diferentes países se han desarrollado normas y leyes, con el fin de tomar medidas ambientales sobre reglamentación del uso de los residuos de concreto, con el propósito de preservar el medio ambiente y de cómo en El Salvador se debe de implementar ciertos lineamientos, que permiten el aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción (concreto tipo ripio y/o retornado) de forma responsable, estableciendo alianzas y acuerdos circulares con el gremio de la construcción.

Se detalla que el concreto reciclado, aparece como una opción innovadora a la hora de reducir los residuos de construcción y evitar la explotación de materias primas no renovables, por lo que se describen los avances que ha tenido su implementación y las ventajas ambientales que conllevan su uso.

El concreto, es el material de construcción más utilizado en el mundo, en consecuencia, los residuos de concreto son unas de las principales fuentes de despojos/sobranante/excedente en el mundo, el problema ambiental que plantean los residuos de construcción, se deriva no solo del creciente volumen de generación de estos como provenientes, de la demolición, del retornado, de los sobrantes, etc., por lo que constituye un problema ambiental grave).

Entre los impactos ambientales que estos provocan, cabe destacar la contaminación del suelo, acuíferos y el deterioro paisajístico por mencionar algunos. Para ejemplificar el volumen generado por el concreto retornado a planta, debido al incremento en la demanda de este, tenemos que, al inicio de 2019 hasta la fecha año 2024 ha generado un consumo sustancial, y para el año 2024 (01 de enero a 17 de diciembre) en la planta HOLCIM RMX que se tomó como base de referencia de estudio, la cantidad suministrada corresponde a 105,357.25 m³, este indicador es solamente una muestra de la población total del producto consumido en la región (corresponde a 0.45 % de la población en estudio), a lo cual la proyección creciente de la demanda de concreto en El Salvador generará, un aumento en la explotación de agregados y con esto una mayor afectación al medio ambiente.

A manera de ejemplo, si tomamos la cantidad correspondiente a la muestra de tres meses de seguimiento del concreto retornado, que es de 469.40 m³ de los residuos de concreto y lo trasladamos a cuantificación del impacto ambiental (área afectada) siguiendo parámetros de seguridad industrial (altura máxima de acopio 6.00 m) tendríamos:

Tabla 9: Área afectada por Concreto Retornado a Planta.

Asumiendo un acopio cuadrado.	
Volumen concreto retornado a planta = 469.40 m ³	
Altura promedio recomendada = 6.00 m	Área afectada = 78.23 m ² .

En China, la gestión de los residuos de concreto fue promovido y puesto bajo escrutinio por la ley de prevención de la contaminación ambiental producida por lo residuos sólidos. En Alemania, de acuerdo con el ciclo cerrado y la gestión de residuos, todas las partes involucradas en el ciclo de materiales de construcción son responsables de los residuos resultantes y de su uso. (Guacaname, 2015, p.4)

En Japón, la ley de reciclaje de construcción requiere que los clientes y contratistas produzcan acuerdos que, obliguen a la clasificación y actividades de reciclaje para los proyectos y materiales particulares.

En El Salvador, la cantidad de residuos de construcción, demolición, retornado, sobrantes, etc. que son aprovechables son muy bajos, en comparación a otros países, ya que no son de cumplimiento obligatorio para las obras públicas y privadas el reciclado de los residuos de concreto, las normatividades en diferentes países del mundo promueven, de manera efectiva el uso de los residuos de concreto, cualquiera que fuese su procedencia, hasta alcanzar porcentajes muy altos de reutilización.

La creciente demanda de uso del concreto, tendrá impactos sobre el medio ambiente, y se deberá tener en cuenta por parte de las autoridades ambientales, para poder mitigarlos. En El Salvador, deben implementar lineamientos ambientales y técnicos para el tratamiento y aprovechamiento de los residuos de concreto, los cuales incluyan a los generadores, transportadores y los que realicen tratamiento y/o aprovechamiento de residuos de construcción.

Es de aclarar que El Salvador, cuenta con un Decreto N.º 527.- de la Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje, además se cuenta con su propia legislación al respecto y que tiene por objetivo el reducir, reutilizar y reciclar los residuos para convertirlos en productos que generen un valor agregado al sector de la construcción.

Las entidades públicas y privadas de la construcción en El Salvador deberán Incentivar a los constructores, para fomentar el reciclado y/o reutilización de los materiales contenidos en los residuos, ya que la reutilización de los residuos de concreto, tiene ventajas tanto ambientales, económicas y de durabilidad de los materiales, que por sus diferentes usos se convierte en una de las tecnologías actuales con más futuro en el mercado.

Cabe mencionar que el objeto de la presente ley es el siguiente, el cual exhorta principalmente a adquirir la responsabilidad y principalmente a alcanzar un grado conductual de la conservación del medio ambiente. Pasamos a mencionar artículos de la Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje:

Objeto.

Art. 1.- La presente ley tiene por objeto lograr el aprovechamiento y disposición final sanitaria y ambientalmente segura de los residuos, a fin de proteger la salud de las personas, el medio ambiente y fomentar una economía circular, a través del establecimiento de una visión sistémica en la gestión integral de los residuos, la determinación de los actores y su forma de interacción, y la asignación de responsabilidades para lograr cambios conductuales en la población. (Decreto N° 527, Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje El Salvador, 2020, p.4)

Para lograr lo anterior, se considerarán al menos los procesos siguientes: disminución de la generación de residuos priorizando la prevención, el fomento a la reutilización, reparación, el reciclaje y otros tipos de valorización, concientizando a la población en la preferencia de productos que generen residuos aprovechables.

En cuanto al ámbito de aplicación podemos mencionar que:

Cuando en cualquier ley sean utilizados los términos de desechos, desperdicios o basura, deberá analizarse si estos son residuos aprovechables o no aprovechables de acuerdo a las definiciones establecidas en esta ley.

Definiciones.

Art. 5.- Para los efectos de esta ley se entenderá por:

Reciclar: “proceso por medio del cual un residuo sólido se le devuelve su potencialidad de reincorporación como materia prima o insumo para la fabricación de nuevos productos.” (Decreto N.º 527, Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje El Salvador, 2020, p.6)

Ripio: es todo tipo de residuo sólido, resultante de demoliciones, construcciones, reparaciones de inmuebles o de otras obras civiles; es decir, los sobrantes de cualquier acción que se ejerza en las estructuras urbanas o rurales.

Una de las atribuciones destacadas:

Art. 7.- El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales tendrá las siguientes atribuciones:

Literal

g) “Apoyar técnicamente en la gestión integral de residuos y fomentar el reciclaje.” (Decreto N.º 527, Ley de Gestión de Residuos y Fomento al Reciclaje El Salvador, 2020, p.8)

ñ) Impulsar el reciclaje, promoviendo mecanismos y acciones tendientes a incorporar al sector público y privado, organizaciones de la sociedad civil y población en general.

Acciones de políticas.

Art. 11.- En la aplicación de la gestión integral de residuos y el reciclaje, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, así como las municipalidades, deberán orientar sus acciones principalmente a:

- a) “Generar políticas encaminadas a maximizar el aprovechamiento de residuos, a fin de que la disposición final sea solamente de aquellos residuos no aprovechables.” (Decreto N.º 527, Ley de Gestión de Residuos y Fomento al Reciclaje El Salvador, 2020, p.10)
- b) Fomentar con inclusión del sector privado, municipalidades, y sociedad civil, el desarrollo de mercados para la comercialización y consumo de productos reciclables.
- f) Fomentar la investigación y desarrollo de tecnologías para la gestión integral de residuos y su aprovechamiento.
- g) Generar políticas de prevención de generación de residuos, así como también de promoción de su valorización.

En El Salvador, se debe avanzar con la investigación y desarrollo de la durabilidad de residuos de concreto, y otros productos generados a partir de este y otras aplicaciones de los residuos de este producto, que contribuyan al desarrollo de la Ley antes mencionada para garantizar el uso responsable de los nuevos productos a partir de los residuos de concreto y desarrollar incentivos a su utilización.

2.9 RESUMEN DE DESECHOS SOLIDOS.

El tratamiento necesario del desperdicio no es simple, y el uso del agregado hecho a partir del desperdicio requiere conocimiento de especialistas, ya que ninguno de los materiales ha llegado a estar sujeto a normalización.

El procesamiento de desperdicio de demoliciones, concreto retornado, concreto desechado etc., para convertirlo en agregado satisfactorio y libre de contaminante, está todavía desarrollándose. Sin embargo, no hay duda de que el uso de agregado reciclado se volverá importante en el futuro. (Neville, 1999, p.134)

Esta política presenta grandes atractivos, frente a la utilización de materias primas naturales, siendo la ventaja más destacada que se soluciona al mismo tiempo, la problemática originada en la

eliminación de subproductos de desecho, y que mediante el uso de estos residuos se obtiene una nueva materia prima, que en el caso de los concreto son los agregados, reduciendo de esta forma una cantidad considerable de recursos naturales primarios a extraer.

El uso de concreto triturado como agregado, conocidos habitualmente como agregados reciclados, para la elaboración de nuevos productos aparece como una alternativa importante, particularmente en regiones densamente pobladas o con escasos recursos naturales. El reciclado de materiales de construcción, impensable hasta hace algunos años, es hoy en día una de las actividades con mayores perspectivas de crecimiento.

Aunque diversos estudios han demostrado la factibilidad del empleo de agregados reciclados, en la mayoría de los casos su aplicación fue orientada, como ya ha sido mencionado, a la elaboración de concretos de baja calidad. Tal es así que la mayoría de los investigadores coinciden en que los agregados reciclados pueden utilizarse sin mayores precauciones, en aquellos casos que no existan demandas de grandes niveles de resistencia (fundaciones, estructuras con cargas menores, etc.).

Sin embargo, el mayor conocimiento de sus propiedades ha conducido a que su uso se generalice, dando lugar a concretos reciclados con niveles de resistencia, durabilidad, similares a los exigidos para los concretos elaborados con agregados naturales de densidad normal.

En muchos casos, como en el país, la utilización de materiales de desecho en la construcción es visto de forma celosa, debido al poco conocimiento que se tiene sobre ellos y a la inexistencia de normativas y/o especificaciones sobre calidad, para hacer que los productos que se comercialicen tengan propiedades acordes a sus necesidades, hecho que puede lograrse mediante un adecuado tratamiento y una correcta gestión, reduciendo así las cantidades de materiales de desecho y poder aprovechar el potencial que estos tienen como material secundario.

La reutilización de los desechos de la construcción puede ser muy diversa, aunque va a depender de la demanda del mercado y de los métodos de obtención. Por ejemplo, en una demolición masiva, sin ninguna clasificación previa (salvo los materiales metálicos y los orgánicos) se pueden obtener materiales adecuados para obras como caminos, terraplenes, bases, etc., mientras que, en una demolición selectiva, en donde se trituran y clasifican los concretos de desecho, se pueden obtener

agregados idóneos para la ejecución de nuevos productos de concretos que pueden ser empleados en elementos estructurales.

El proceso ideal en la construcción de una estructura de concreto, concebida desde el proyecto hasta la demolición, debería seguir el siguiente procedimiento: Construir para demoler, demoler para reciclar, reciclar para construir, un proceso que si se cumpliera con rigor prácticamente no se producirían residuos. (C.J. Zega, M.E. Sosa, A.A. Di Maio, 2018, p.42).

2.10 RECICLADO DE CONCRETO.

Existen diferentes métodos y sistemas para la remoción del concreto, incluyendo desde grandes equipos, en general autopropulsados, utilizados para las principales tareas de demolición hasta diferentes tipos de herramientas de mano (neumática, hidráulica, eléctrica, a combustible) empleadas para trabajos menores. (C.J. Zega, et al, 2018, p.43).

Cualquiera de estos métodos tiene por finalidad reducir el tamaño de los bloques de concreto de manera de lograr un tamaño acorde con el medio de transporte disponible y/o con la abertura de boca y tipo de trituradora que se empleará para la obtención de los agregados reciclados.

Las plantas de producción de agregados reciclados, son similares a las de producción de agregados primarios, y pueden operar mediante sistemas abiertos o cerrados. Estos sistemas están compuestos por un conjunto de trituradoras y tamices dispuestos en serie, permitiendo ejercer un mayor control sobre las características del material producido como así también la separación del mismo en distintas fracciones. El nivel de complejidad de la planta lo define el grado de contaminación que presente el residuo y la aplicación final que tendrá el nuevo material obtenido.

El proceso de reciclaje de concreto, consiste básicamente en las operaciones de preclasificación del residuo, trituración y clasificación final del material, tendiendo de esta forma a la obtención de productos similares a los agregados naturales que se comercializan, de este modo es posible obtener agregados grueso y fino reciclados.

Los agregados reciclados obtenidos de la trituración de concreto, presentan a simple vista características diferentes a las de los agregados naturales. Mientras que, en los agregados naturales,

dichas características dependen en primera instancia de las características de la roca madre, en los agregados reciclados dependerán de las características de la roca, pero también del mortero del concreto original, siendo importante las cantidades relativas en que se presentan cada uno de ellos.



Ilustración 15: Áridos reciclados.

Estas características del agregado reciclado hacen que sea un material heterogéneo, constituido por dos fases: mortero y roca, las que poseen propiedades diferentes, siendo la porosidad del mortero la más importante, ya que modifica otras propiedades como la densidad, absorción de agua, resistencia, dureza, durabilidad, etc.

El mortero presente en las partículas de los agregados reciclados, produce en los mismos una textura superficial más rugosa y porosa que la del agregado natural. Esta característica distintiva hace que el empleo de agregados reciclados en la elaboración de concreto, produzca modificaciones en las propiedades de las mezclas, como por ejemplo que absorban parte del agua de mezclado en aquellos casos en que se los utilice en estado seco, hecho que está en función directa con el porcentaje en que se los emplee.

Por tal motivo, para obtener una determinada trabajabilidad prefijada del concreto existen distintas alternativas a considerar:

- ✓ Cuantificar la cantidad de agua adicional que se debe agregar al concreto durante el mezclado mediante ensayos previos.
- ✓ Utilizar el agregado reciclado en estado saturado.

- ✓ Utilizar un aditivo superfluidificante.

2.11 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS RECICLADOS.

En general, se denota que la granulometría del agregado grueso reciclado es aislada de factores tales como el nivel resistente del concreto del cual se creó y de la edad del concreto al momento de su procesamiento. Además, las granulometrías obtenidas mediante el empleo de trituradoras y de la experiencia en el manejo de los equipos, estos se encuentran en su mayor parte dentro de los límites especificados en las normativas aplicables. (C.J. Zega, et al, 2018, p.43)

En el caso del agregado fino reciclado, su granulometría y por ende su módulo de finura resulta casi siempre superior al de un agregado fino natural, motivo por el cual en la mayoría de los casos las curvas granulométricas, se encuentran por fuera de los límites establecidos por las normas para las arenas naturales o manufacturadas.

Considerando las propiedades antes mencionadas de los agregados reciclados derivados del concreto, se debe de tomar en cuenta que los mismos presentan una elevada absorción de agua y una menor densidad en comparación con el propio agregado natural que contienen.

2.11.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION.

Considerando que, la resistencia a los esfuerzos de compresión del concreto es una de las características que mejor lo representa, que a su vez se encuentra relacionada con otras propiedades del concreto en estado endurecido, puede denotar que los concretos reciclados, presentan un comportamiento casi igual al de los concretos convencionales elaborados con el mismo tipo de agregado grueso natural o manufacturado. (C.J. Zega, et al, 2018, p.48)

La inclinación de utilizar concretos reciclados, es la solución al problema muy común de un exceso de concreto de desecho. A este hecho debe de asociar una reducción en los costos de elaboración, ya que en la mayoría de los casos la generación de estos desechos se produce en el mismo lugar donde serán reutilizados, así como también en otros proyectos donde se requieran, además de conservar y minimizar la explotación de materia prima no renovable.

Para que el empleo del agregado reciclado repercuta en beneficios ambientales y económicos, es supremamente importante una cuantificación de ambos factores, ya que no siempre el empleo de materiales reciclados conllevará a reducir el impacto ambiental o a una reducción económica.

2.11.2 EQUIVALENCIAS DEL METODO AASHTO.

Siempre se hace necesario capitalizar, comparar y tomar en cuenta algunos criterios funcionales y procedimientos del Método AASHTO 93 el cual implica y toma del Diseño de Estructuras de Pavimento, los espesores promedios equivalentes de los diferentes materiales de bases, con relación a las resistencias de Rellenos Fluidos.

Para obtener la estructura eficiente de forma definitiva, se debe realizar la exploración del suelo, así como también el uso de agregados reciclados, ensayos de laboratorio, medición del tráfico, definir criterios de diseño e ingresar a un método de diseño reconocido y autorizado.

Criterios para la utilización de agregados reciclados

- ✓ No se deben diseñar y construir losas de Relleno Fluido con fines estructurales, con espesores menores a 4”.
- ✓ Solamente se podrán utilizar espesores de relleno Fluido menores a 4” en nivelaciones, camas de ductos o usos no estructurales.
- ✓ Para que sean efectivas y comparables las equivalencias entre los diferentes materiales, se debe garantizar la calidad y niveles de compactación de las bases y subbases granulares, así como la resistencia del Relleno Fluido.

2.11.3 AGREGADOS RECICLADOS.

Ágregados reciclados, “se conceptualizan los agregados reciclados (AR) como los agregados resultantes del procesamiento del material inorgánico previamente utilizado en construcción, en los concretos retornados y producto no conforme.” (González, 2012, P.18).

Los Agregados Reciclados tienen dos criterios básicos de clasificación:

- ✓ Por granulometría o tamaño máximo de partícula y,

- ✓ por composición material. Esta última permite determinar el porcentaje en peso de los distintos materiales que suelen contener los áridos reciclados.

En general, los materiales más usuales son: el concreto, material cerámico, y asfalto.

A nivel mundial los aridos reciclados que se utilizan en diversas aplicaciones, como las señaladas, poseen tamaños que según su clasificación nominal van de 4 a 35 mm. Esto deja un gran porcentaje de material (0 a 4 mm) sin utilizar, que en la mayoría de los casos es depositado en vertederos y/o desechados. Sin embargo, este tipo de granulometría es óptima para su aplicación en los MBRC.

Existen muy pocas publicaciones y experiencia que traten sobre la utilización de áridos reciclados para la fabricación de MBRC en la actualidad. Una de ellas, investigó la viabilidad técnica de utilizar aridos reciclados de concreto de fracción fina (tamaño máximo 10 mm) y gruesa (tamaño máximo 28 mm) conjuntamente con adiciones cementantes sin la necesidad de utilizar cemento portland, concluyendo que los MBRC desarrollados eran adecuados para una amplia gama de aplicaciones, especialmente aquellas que requieren de un soporte estructural muy rápido.

Una de las ventajas técnicas del MBRC, es su capacidad para incluir materiales fuera del campo del concreto convencional y no normalizados. Además de los materiales anteriormente descritos, hay otros materiales usados como agregados en el MBRC, como por ejemplo, vidrios de colores que no pueden ser reciclados por los fabricantes de botellas locales, se han triturado para pasar por un tamiz de 12,5 mm y han sido utilizados con éxito en el MBRC en forma de árido finos.

CAPITULO III:

INVESTIGACION DE CAMPO.

CAPITULO III: INVESTIGACION DE CAMPO.

3.1 REALIZACION DE ENSAYOS.

3.1.1 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA.

La procedencia de la muestra del agregado fino manufacturado proviene de la planta de agregados Tepeagua, la cual se encuentra en la calle a Cantón Tepeagua, paralela a carretera al puerto de La Libertad, Departamento de La Libertad, El Salvador, siendo esta, una zona muy propensa a poder extraer agregados manufacturados, además de poseer turismo ecológico y comercio del mismo tipo, lo cual la hace que la zona sea muy propensa al turismo del departamento de la Libertad.

La procedencia de la segunda muestra de concreto reciclado proviene de la planta HOLCIM MX San Andrés, esta se encuentra en Km 25 de la carretera panamericana, distrito de Lourdes, la Libertad Oeste, El Salvador. Esta compañía tiene 75 años de experiencia en la elaboración de concreto de muy buena calidad.

Para la investigación se realizaron visitas de campo y muestreos de material del banco de fino manufacturados y del concreto retornado, seleccionados en la zona antes mencionadas, posterior a esto se procedió a verificar el tipo de agregado tanto visualmente como manualmente como el tipo de textura, color y humedad, tamaño, luego se procedió a tomar muestras según norma la ASTM D-75.

Dichos agregados fueron trasladados en sacos, hacia el laboratorio especializado en la elaboración de ensayos de agregados. Lugar donde se realizaron los ensayos de los agregados en estudio de acuerdo con el sistema de clasificación de rangos normados según las normas de referencia ASTM C-33.

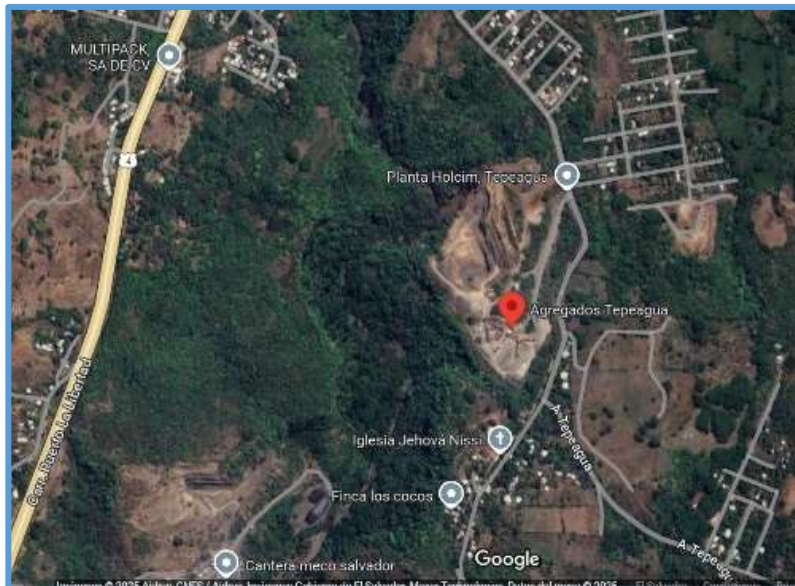


Ilustración 16: Planta de agregados Tepeagua, La Libertad.



Ilustración 17: Interior de planta de agregados, donde se aprecia material fino manufacturado.

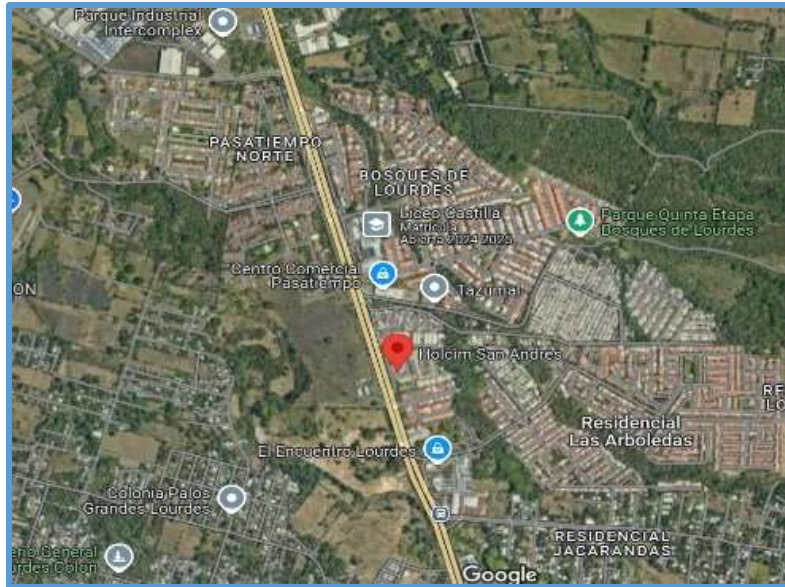


Ilustración 18: Plantel HOLCIM RMX San Andrés, La Libertad.



Ilustración 19: Interior de plantel, donde se observa concreto reciclado y/o reciclado.

Para la realización de ensayos se tienen como parámetros las resistencias a la compresión entre 5 a 25 kg/cm² a 28 días, se procederá a elaborar una serie de pruebas, de cada uno de los diversos diseños, se estima que estarán en el rango de las resistencias antes mencionadas.

Se trabajará con cemento Holcim bajo la normativa ASTM C150 portland tipo 1. Fabricado con base en la norma ASTM C150. Disponible en bolsas de 42.5 kg y a granel, cumple con la norma, como cemento tipo 1; y es obtenido por la molienda conjunta y uniforme de Clinker tipo Portland. Los silicatos de calcio resultantes de la reacción puzolánica actúan como relleno de los poros capilares, generando concretos poco permeables, lo que acentúa su durabilidad y resistencia ante el ataque de sulfatos sustancias nocivas para el concreto.



Ilustración 20: Silos de almacenamiento del Cemento.

3.1.2 PRACTICA ESTANDAR PARA MUESTREO DE AGREGADOS ASTM D-75.

Alcance.

Esta práctica cubre el muestreo de agregados gruesos y finos para los siguientes propósitos:

- ✓ Investigación preliminar de la fuente potencial de suministro, garantiza resultados confiables por completo.
- ✓ Control del producto en la fuente de suministro
- ✓ Control de las operaciones en el sitio de uso
- ✓ Aceptación o rechazo de los materiales.

Significado y uso.

El muestreo es tan importante como el ensayo, y el muestreador deberá tomar todas las precauciones para obtener muestras que muestren la naturaleza y condición de los materiales que representan.

Las muestras para los ensayos de investigación preliminar son obtenidas por la parte responsable del desarrollo de la fuente potencial.

Muestras seguras.

General: cuando sea posible, las muestras que se van a analizar para determinar la calidad se obtendrán del producto terminado. Las muestras del producto terminado que se van a analizar para determinar la pérdida por abrasión no se deben triturar ni reducir manualmente el tamaño de las partículas como preparación para la prueba de abrasión, a menos que el tamaño del producto terminado sea tal que requiera una reducción adicional para fines de prueba.

Inspección: el material que se va a muestrear se debe inspeccionar visualmente para determinar variaciones perceptibles. Si se observan variaciones perceptibles, se deben tomar medidas correctivas para establecer la homogeneidad en el material antes del muestreo.

Muestreo desde una pila de almacenamiento o unidad de transporte: Evite muestrear agregado grueso o mezclas de agregado grueso y fino de una pila de almacenamiento o unidades de transporte siempre que sea posible, particularmente cuando la muestra se toma con el propósito de determinar las propiedades en el agregado que puedan depender básicamente de la graduación de la muestra. Pero si las circunstancias hacen necesario obtener muestras de una pila de almacenamiento de agregado grueso o de agregado grueso y fino combinado, debe diseñarse un plan de muestreo para el caso específico que se tiene bajo consideración.

Tabla 10: Tamaño mínimo de las muestras.

Tamaño Nominal Máximo del Agregado.	Masa Mínima Aproximada de Muestra de Campo.
N° 8 (2.36mm)	10 kg. (25 lb.)
N° 4 (4.75mm)	10 kg. (25 lb.)
3/8" (9.5mm)	10 kg. (25 lb.)
1/2" (12.5mm)	15 kg. (35 lb.)
3/4" (19.0mm)	25 kg. (55 lb.)
1" (25.0mm)	50 kg. (110 lb.)
1 1/2" (37.5mm)	75 kg. (165 lb.)
2" (50.0mm)	100 kg. (220 lb.)
2 1/2" (63.0mm)	125 kg. (275 lb.)
3" (75.0mm)	150 kg. (330 lb.)
3 1/2" (90.0mm)	175 kg. (385 lb.)



Ilustración 21: Acopio de material triturado en plantel HOLCIM RMX.



Ilustración 22: Muestreo de material triturado, para ser usado en los ensayos a realizar.

3.1.3 PRACTICA ESTANDAR PARA REDUCCION DE LAS MUESTRAS DE AGREGADOS A TAMAÑOS DE PRUEBA ASTM C-702.

Alcance.

Esta práctica describe tres métodos para la reducción de muestras de agregado al tamaño apropiado para la prueba empleando técnicas que están encaminadas a minimizar las variaciones en características mensurables entre la muestra seleccionada para ensayo y la muestra total.

Los valores establecidos en unidades del SI son considerados los estándares.

Este estándar no pretende dar dirección a todos los problemas de seguridad, si alguno, asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de este estándar establecer la seguridad apropiada y prácticas de salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras previas a su uso.

Significado y uso.

Esta práctica proporciona procedimientos para reducir la muestra total obtenida en el campo o producidas en el laboratorio al tamaño conveniente para realizar un numero de ensayos para describir el material y medir su calidad de tal manera que la porción de la muestra más pequeña sea representativa de la muestra total suministrada.

Bajo ciertas circunstancias, no se recomienda la reducción del tamaño de la muestra grande antes de la prueba. Unas diferencias importantes entre las muestras de ensayo seleccionadas a veces no pueden ser evitadas, como, por ejemplo, en el caso de un agregado que tiene relativamente pocas partículas de gran tamaño en la muestra. Del mismo modo, si se examina la muestra de ensayo para ciertos contaminantes que se producen como algunos fragmentos discretos en sólo pequeños porcentajes, se debe tener precaución en la interpretación de los resultados de la muestra de ensayo de tamaño reducido. La probabilidad de inclusión o exclusión de sólo una o dos partículas en la muestra seleccionada podrá ser importante en la interpretación de influencia de las características de la muestra original.

Selección del método.

Agregado Fino – Reduzca el tamaño de las muestras de agregado fino que están en una condición saturada superficialmente secas, por un partidor mecánico de acuerdo con el Método A. Reduzca el tamaño de las muestras que tengan humedad libre en la superficie de las partículas por cuarteo de acuerdo con el Método B, o tratado como un apilamiento miniatura, como se describe en el Método C.

Procedimiento.

Colocar la muestra del material original en la tolva o recipiente de alimentación y distribuirla uniformemente de un extremo al otro, de manera que cuando se introduzca en las ranuras, fluyan cantidades aproximadamente iguales a través de cada ranura. Introducir la muestra a una velocidad tal, que le permita fluir libremente a través de las ranuras hasta los receptáculos que están abajo a los lados. Reintroducir la porción de la muestra de uno de los receptáculos al divisor, tantas veces como sean necesario para reducir la muestra al tamaño especificado para el ensayo prescrito.

Método A, cuarteo mecánico.

El cuarteador de muestras, debe tener un número par de aberturas de igual tamaño, pero no menos de ocho para agregados gruesos, o doce para agregado fino, con descarga alterna con cada lado del cuarteador. Para agregado grueso y mezcla de agregado, el ancho mínimo de la abertura individual deberá ser aproximadamente 50% mayor que la partícula más grande, en la muestra a ser cuarteada. Para muestras de agregado fino seco en el cual la muestra entera pasará el tamiz 9.5mm (3/8”), un cuarteador teniendo aberturas de 12.5 a 20mm (1/2” a 3/4”) de ancho deberá ser usado. El cuarteador deberá ser equipado con dos recipientes para guardar las dos mitades de la muestra cuarteada. También deberá contar con una tolva o cucharón de fondo recto, el cual tenga un ancho igual o ligeramente menor que el ancho total del conjunto de aberturas, por medio del cual se alimente la muestra a dichos conductos y a velocidad controlada. El cuarteador y el equipo complementario debe ser diseñado de tal forma que permita un flujo eficiente de la muestra sin restricción ni pérdida de materiales.

Procedimiento.

Ponga la muestra original en la tolva o cucharón y distribúyalo uniformemente de borde a borde, así que cuando sea introducido a través de las aberturas, cantidades aproximadamente iguales fluirán a través de cada abertura. La velocidad a la cual la muestra es introducida deberá ser tal que permita un libre flujo a través de las aberturas hasta los recipientes colocados abajo. Reintroduzca la porción de la muestra en uno de los recipientes al cuarteador tantas veces como sea necesario para reducir la muestra al tamaño de muestra especificado por la prueba. La porción de material colectado en el otro recipiente será reservada para la reducción de tamaño en otras pruebas.

Método B, cuarteo manual.

El equipo debe consistir en un cucharón cuadrado pala o paleta, una escoba o cepillo y una lona de material adecuado (que no permita pérdida del material de muestra) aproximadamente de 2 m por 2.5 m (6 pies por 8 pies).

Método C, apilado en miniatura.

El equipo debe consistir en un cucharón cuadrado, una pala o paleta para mezclar el agregado y un muestreador pequeño, un cucharón pequeño o una cuchara de mesa para el muestreo.



Ilustración 23: Proceso de reducción de muestra para ser ensayada.



Ilustración 24: Proceso de reducción de muestra para ser ensayada.

3.2 ENSAYOS PARA EL DISEÑO DEL RELLENO FLUIDO ECOLOGICO SUSTENTABLE (RFES).

3.2.1 METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA ANALISIS POR TAMIZADO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS ASTM C-136.

Alcance.

Este método de prueba cubre la determinación de la distribución del tamaño de partículas de agregados finos y gruesos mediante tamizado. Algunas especificaciones para agregados que hacen referencia a este método de prueba contienen requisitos de clasificación que incluyen fracciones gruesas y finas. Se incluyen instrucciones para el análisis de tamiz de dichos agregados. Los valores indicados en unidades del SI serán considerados los estándares.

Significado y uso.

Este método de ensayo es usado primeramente para determinar la graduación de materiales propuestos para usarse como agregados o siendo usados como agregados. Los resultados son

usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de las partículas con los requerimientos especificados aplicables y para proporcionar información necesaria en el control de la producción de varios productos agregados y mezclas conteniendo agregados. La información también puede ser usada en el desarrollo emparentado respecto a la porosidad y empaque.

La determinación de la exactitud del material más fino que la malla de 75 μm (No. 200) no puede ser ejecutado solo por el uso de este método. El Método de Ensayo C 117 para material más fino que la malla de 75 μm por lavado, puede ser empleado.

Muestreo:

Muestre el agregado de acuerdo con la Práctica D75. El tamaño de la muestra de campo tiene que ser la cantidad mostrada en la Práctica D75, mezcle cuidadosamente la muestra de agregado a ser ensayada y reduzca, la cantidad a una cantidad apropiada para el ensayo usando los métodos aplicables descritos en la Práctica C702. La muestra para el ensayo tiene que ser aproximadamente la cantidad deseada cuando se encuentra seca y tiene que ser el resultado final de la reducción.

La reducción a una cantidad exacta predeterminada no tiene que estar permitida.

Agregado Fino – El tamaño de la muestra de ensayo, después de secado, tiene que ser de 300g como mínimo.

Agregado Grueso – El tamaño de la muestra de ensayo de agregado grueso, será conforma con lo siguiente:

Tabla 11: Tamaño de las muestras de ensayo.

Tamaño Máximo Nominal, Aberturas Cuadradas, mm (pulg).	Tamaño de la Muestra de Ensayo Mínimo, Kg (lb).
3/8" (9.5mm)	1Kg. (2 lb.)
1/2" (12.5mm)	2Kg. (4 lb.)
3/4" (19.0mm)	5Kg. (11 lb.)
1" (25.0mm)	10Kg. (22 lb.)

1 1/2" (37.5mm)	15Kg. (33 lb.)
2" (50.0mm)	20Kg. (44 lb.)
2 1/2" (63.0mm)	35Kg. (77 lb.)
3" (75.0mm)	60Kg. (130 lb.)
3 1/2" (90.0mm)	100Kg. (220 lb.)
4" (100.0mm)	150Kg. (330 lb.)
5" (125.0mm)	300Kg. (660 lb.)

Mezclas de Agregado Fino y Grueso – El tamaño de la muestra de ensayo de mezclas de agregado fino y grueso tiene que ser la misma.

Muestras de Agregado Grueso de Tamaño Grande – El tamaño de la muestra requerida para agregados con tamaño máximo nominal de 50mm (2-pulg) o mayor es tal como para descartar la conveniente reducción de la muestra y de ensayo como una unidad excepto con cuarteadores mecánicos grandes y con agitadores mecánicos grandes. Como una opción cuando este equipo no está disponible, en vez de combinar y mezclar incrementos de muestra y luego reducir la muestra de campo a tamaño de ensayo, se realiza el análisis de mallas en un número aproximadamente igual a los incrementos de muestra tal que la masa total ensayada cumpla con el requisito de norma. (ver tabla 2)

En el caso de que se vaya a determinar a través del Método de Ensayo ASTM C-117 la cantidad de material más fino que la malla de 75-µm (No. 200), proceda como se indica a continuación:

Para agregados con un tamaño máximo nominal de 12.5 mm (½ pulgada) o menor, use la misma muestra de ensayo para ensayar a través del método de ensayo ASTM C-117 y de este método de ensayo. Primero ensaye la muestra conforme al método de ensayo ASTM C-117 hasta la operación de secado final, luego tamice en seco la muestra tal como se estipula en este método de ensayo.

Procedimiento:

Seque la muestra a masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ [$230 \pm 9^{\circ}\text{F}$].

Seleccione las mallas con aberturas apropiadas para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubren el material que se ensayará. Use mallas adicionales como se desee o como sea necesario para proporcionar otra información, tales como el módulo de finura, o para regular la cantidad de material sobre una malla. Acople las mallas en orden decreciente con respecto al tamaño de la abertura desde la malla superior hasta la malla inferior, y luego coloque la muestra sobre la malla superior. Agite las mallas manualmente o a través de un equipo mecánico por un periodo suficiente, establecido por pruebas o revisado a través de mediciones sobre la muestra de ensayo real, para cumplir con el criterio de idoneidad del tamizado.

Limite la cantidad de material sobre una malla dada de manera que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar la abertura de la malla un número de veces durante la operación de tamizado. Para mallas con aberturas menores a 4.75- mm (No. 4), la cantidad retenida sobre cualquier malla al finalizar la operación de tamizado no tiene que exceder los 7 kg/m² del área superficial de tamizado. Para las mallas con abertura de 4.75-mm (No. 4) o mayores, la cantidad retenida en kg no tiene que exceder el producto de 2.5 x (abertura de la malla, mm x (área de tamizado efectiva, m²)).

Esta cantidad se muestra en la Tabla 1 para cinco dimensiones de malla-marco de uso común. En ningún caso la cantidad retenida tiene que ser tan grande como para causar deformación permanente en el tejido de la malla.

Tabla 12: Dimensiones nominales de malla.

Tamaño de Abertura de malla, mm.	Dimensiones nominales de la malla.				
	203.2mm	254mm	304.8mm	350x350mm	372x580mm
	Área de tamizado, m²				
	0.0285	0.0457	0.0670	0.1225	0.2158
125	C	C	C	C	67.4
100	C	C	C	30.6	53.9

90	C	C	15.1	27.6	48.5
75	C	8.6	12.6	23.0	40.5
63	C	7.2	10.6	19.3	34.0
50	3.6	5.7	8.4	15.3	27.0
37.5	2.7	4.3	6.3	11.5	20.2
25	1.8	2.9	4.2	7.7	13.5
19	1.4	2.2	3.2	5.8	10.2
12.5	0.89	1.4	2.1	3.8	6.7
9.5	0.67	1.1	1.6	2.9	5.1
4.75	0.33	0.54	0.8	1.5	2.6

Cuadro resumen comparativo entre constituyentes finos de mallas #50, #100 y #200

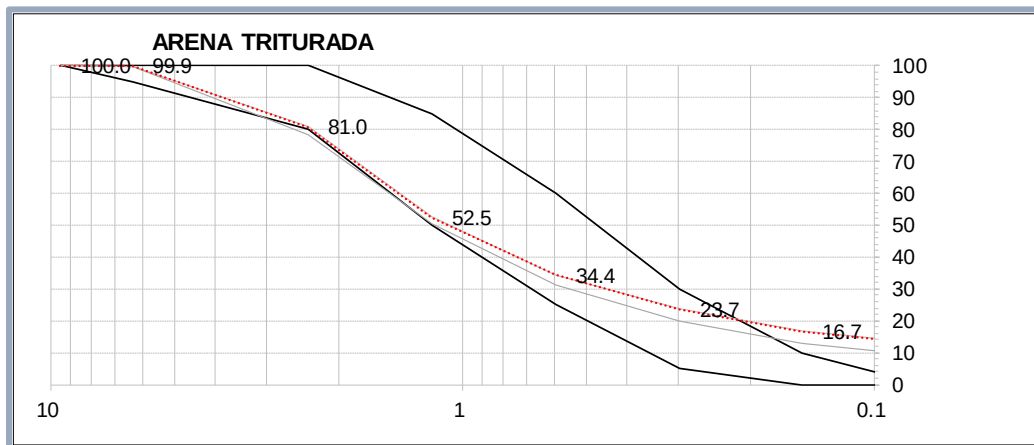
Constituyente del MRBC	Agregados Combinados RFES	Ceniza Volcanica Lodocreto	ACI 304.2R ASTM C-33 Recomendacion
% pasa malla #50	22.6%	56.2%	15% al 30%
% pasa malla #100	15.6%	38.5%	5% al 10%
% pasa malla #200	11.7%	35.7%	5% al 7%



Ilustración 25: Juego de mallas o tamices, para elaborar ensayo granulométrico.

Análisis Granulométrico de Arena Triturada.

A1				
Denominación:	Arena Triturada			RT
Procedencia:	Tepeagua			
G.E.		2.56		
Absorción		3.1	%	
ARENA No.1			70	%
Malla	Peso Ret.	Peso Ret.	Peso Ret.	%
	(g)	(%)	Acum. (%)	Que Pasa
3/8 "	0.00	0.0	0.0	100.0
No. 4	0.50	0.1	0.1	99.9
No. 8	161.10	19.0	19.0	81.0
No. 16	241.50	28.4	47.5	52.5
No. 30	153.80	18.1	65.6	34.4
No. 50	90.80	10.7	76.3	23.7
No. 100	59.20	7.0	83.3	16.7
No. 200	33.70	4.0	87.2	12.8
Charola	108.40	12.8	100.0	0.0
Total	849.0	100.0		100.0
		Módulo de finura	2.92	



Análisis Granulométrico de Material Fino Manufacturado.

A2				
Denominación:	Arena Reciclada			AR
Procedencia :	Tepeagua			
G.E.		2.28		
Absorción		10.5	%	
ARENA No.2			30	%
Malla	Peso Ret.	Peso Ret.	Peso Ret.	%
	(g)	(%)	Acum. (%)	Que Pasa
3/8 "	0.00	0.0	0.0	100.0
No. 4	1.10	0.1	0.1	99.9
No. 8	169.30	21.5	21.7	78.3
No. 16	220.90	28.1	49.7	50.3
No. 30	150.40	19.1	68.9	31.1
No. 50	90.10	11.5	80.3	19.7
No. 100	54.40	6.9	87.2	12.8
No. 200	29.80	3.8	91.0	9.0
Charola	70.70	9.0	100.0	0.0
Total	786.7	100.0		100.0
		Módulo de finura	3.08	

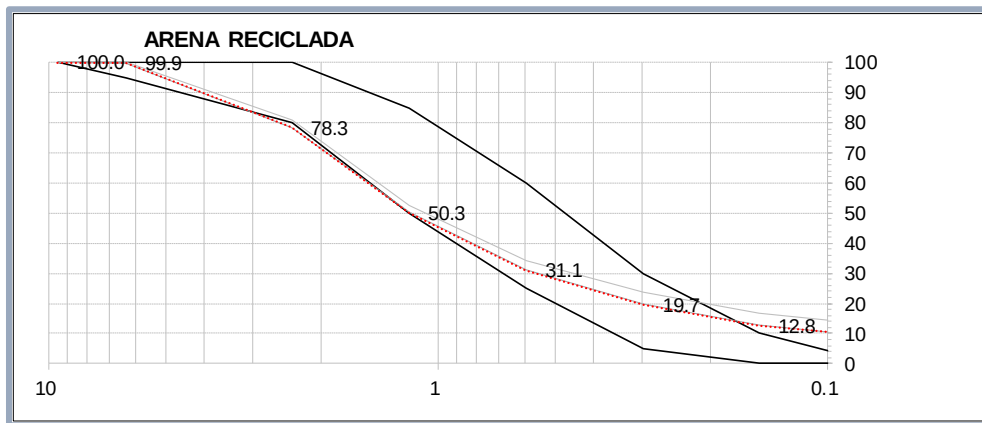


Ilustración 26: Tamizador mecánico, usado para ensayo Granulométrico.



Ilustración 27: Ensayo Granulométrico para agregado fino.



Ilustración 28: Ensayo Granulométrico para agregado fino.

3.2.2 METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA N° 200 (75MM) EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO ASTM C-117.

Alcance.

Este método de ensayo cubre la determinación la cantidad de material más fino que una malla de 75 mm (No. 200) en agregados por lavado. Las partículas de arcilla y otras partículas de agregado que se dispersan por el agua de lavado, así como los materiales solubles al agua, se removerán durante el ensayo.

Se incluyen dos procedimientos, uno solo empleando agua para la operación de lavado, y otra que incluye un agente humectante que ayuda a que el material más fino que la malla de 75 μm (No. 200) se suelte del material más grueso.

Los valores establecidos en unidades del SI son considerados los estándares.

Significado y uso.

El material más fino que la malla de 75 μm (No. 200) puede ser separado de las partículas gruesas mucho más eficiente y completamente por tamizado húmedo que a través de tamizado en seco. Entonces, cuando se desean determinaciones precisas de material más fino que la malla de 75 μm en agregado fino o grueso, este método de ensayo es usado en la muestra previo al tamizado seco, de acuerdo con el Método de Ensayo C 136. Los cálculos y la cantidad total de material más fino que la malla de 75 μm por lavado, se obtiene por tamizado seco de la misma muestra, y reportada con los resultados del Método de Ensayo C 136. Usualmente la cantidad retenida, es pequeña, sin embargo, cuando es grande, la eficiencia de la operación del lavado se puede verificar.

El agua es adecuada para separar el material más fino que la malla 75 μm del material grueso con más agregado, en algunos casos el material fino esta adherido a las partículas gruesas, tales como algunas partículas de arcilla y agregados revestidos que han sido extraídos de mezclas bituminosas. En estos casos el agregado fino será separado más rápidamente con un agente humectante en el agua.

Muestreo.

Muestree el agregado de acuerdo con la Práctica D 75. Si la misma muestra de prueba es ensayada mediante análisis por malla de acuerdo con el Método de Ensayo C 136, cumpla con los requerimientos aplicables de este método de ensayo.

Mezcle completamente la muestra de agregado a ser ensayado y reduzca la masa a una cantidad compatible con el ensayo usando los métodos aplicables descritos en la Práctica C 702. Si la misma muestra de prueba es ensayada de acuerdo con el Método de Ensayo C 136, la masa mínima deberá ser descrita en la sección aplicable de este método.

De otra manera, la masa de la muestra de ensayo, después de secada, deberá estar conforme con lo siguiente:

Tabla 13: Tamaño de muestra según masa.

Tamaño máximo nominal	Masa mínima. (g)
4.75mm (N° 4) o menor.	300
9.5mm (3/8")	1000
19.00mm (3/4")	2500
37.5mm (1 1/2") o mayor.	5000

La muestra de ensayo será el resultado final de la reducción. Reducción a una masa predeterminadamente exacta no será permitida.

Calculo

Calcule la cantidad de material que pasa la malla de 75 mm (No. 200) por lavado como sigue:

$$\% A = [(B - C) / B] \times 100$$

Donde:

% A = porcentaje de material más fino que una malla de 75 mm (No. 200) por lavado

B = masa seca original de la muestra, g.

C = masa seca de la muestra después del lavado, g.



Ilustración 29: Preparación de material fino, pasante de la malla # 200.



Ilustración 30: Lavado de material fino, pasante de la malla # 200.

3.2.3 METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) Y LA ABSORCION DE AGREGADOS FINOS ASTM C-128.

Alcance

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados finos. La densidad relativa (gravedad específica), una cualidad adimensional, se expresa como densidad seca al horno (OD), densidad superficial saturada seca (SSD) o como densidad relativa aparente (gravedad específica). La densidad relativa OD se determina después de secar el agregado. La densidad relativa SSD y la absorción se determinan después de remojar el agregado en agua durante un tiempo prescrito.

Resumen del método de prueba

Se sumerge una muestra de agregado en agua durante 24 ± 4 h para rellenar esencialmente los poros. Luego se retira del agua, se seca el agua de la superficie de las partículas y se determina la masa. Posteriormente, la muestra (o una parte de ella) se coloca en un recipiente graduado y se determina el volumen de la muestra mediante el método gravimétrico o volumétrico. Finalmente, la muestra se seca en horno y se determina nuevamente la masa. Utilizando los valores de masa así obtenidos y las fórmulas de este método de prueba, es posible calcular la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción.

Significado y uso

La densidad relativa (gravedad específica) es la relación entre la masa de un agregado y la masa de un volumen de agua igual al volumen de las partículas del agregado, también denominada volumen absoluto del agregado. También se expresa como la relación entre la densidad de las partículas del agregado y la densidad del agua. Se hace una distinción entre la densidad de las partículas del agregado y la densidad aparente de los agregados, según se determina mediante el método de prueba C29/C29M, que incluye el volumen de huecos entre las partículas de los agregados.

La densidad relativa se utiliza para calcular el volumen ocupado por el agregado en diversas mezclas que contienen agregados, incluido el hormigón de cemento hidráulico, el hormigón bituminoso y otras mezclas que se dosifican o analizan sobre una base de volumen absoluto. La densidad relativa (gravedad específica) también se utiliza en el cálculo de huecos en el agregado en el método de prueba C29/C29M y en el método de prueba C1252.

La densidad relativa (gravedad específica) (SSD) se utiliza para determinar la humedad superficial de los agregados finos mediante el desplazamiento de agua en el método de prueba C70. La densidad relativa (gravedad específica) (SSD) se utiliza si el agregado se encuentra en una condición de superficie seca saturada, es decir, si se ha satisfecho su absorción. Alternativamente, la densidad relativa (gravedad específica) (OD) se utiliza para los cálculos cuando el agregado está seco o se supone que está seco.

Los valores de absorción se utilizan para calcular el cambio en la masa de un material agregado debido al agua absorbida en los espacios porosos dentro de las partículas constituyentes, en comparación con la condición seca, si se considera que el agregado ha estado en contacto con agua durante el tiempo suficiente para satisfacer la mayor parte del potencial de absorción. El estándar de laboratorio para la absorción es el que se obtiene después de sumergir el agregado seco durante un período de tiempo prescrito.

Los agregados extraídos de debajo del nivel freático generalmente tienen un contenido de humedad mayor que la absorción determinada por este método de prueba, si se utilizan sin la oportunidad de secarlos antes de su uso. Por el contrario, es probable que algunos agregados que no se han mantenido continuamente en una condición húmeda hasta su uso contengan una cantidad de humedad absorbida menor que la condición de 24 horas de remojo.

Para un agregado que ha estado en contacto con agua y que tiene humedad libre en las superficies de las partículas, el porcentaje de humedad libre se determina deduciendo la absorción del contenido de humedad total determinado por el Método de prueba C566 mediante secado. 5.5 Los procedimientos generales descritos en este método de ensayo son adecuados para determinar la absorción de agregados que han sido sometidos a un acondicionamiento distinto del remojo de 24 horas, como por ejemplo agua hirviendo o saturación al vacío. Los valores obtenidos para la

absorción mediante otros métodos de ensayo serán diferentes a los valores obtenidos mediante el remojo de 24 horas prescrito, al igual que la densidad relativa (gravedad específica) (SSD).

Muestreo

Tome una muestra del agregado de acuerdo con la Práctica D75. Mezcle bien la muestra y redúzcala para obtener una muestra de ensayo de aproximadamente 1 kg utilizando los procedimientos aplicables descritos en la Práctica C702/C702M.

Preparación de la muestra de prueba

Coloque la muestra de prueba en una bandeja o recipiente adecuado y séquela en el horno hasta que alcance una masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F). Déjela enfriar hasta que sea cómoda de manipular la temperatura (aproximadamente 50 °C), cubrir con agua, ya sea por inmersión o mediante la adición de al menos 6 % de humedad al agregado fino, y dejar reposar durante $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$. Cuando se utilicen agregados livianos de la Especificación C330/C330M o la Especificación C332 Grupo II, sumergir el agregado en agua a temperatura ambiente durante un período de $72 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$, revolviendo durante al menos un minuto cada 24 h.

Cálculos.

Símbolos;

A = masa del espécimen secado al aire en horno, g,

B = peso del picnómetro llenado con agua, a la marca de calibración, g,

C = peso del picnómetro con espécimen y agua, hasta la marca de calibración, g.

R1 = lectura inicial del nivel de agua en el frasco de Le Chatelier, y

R2 = lectura final del nivel de agua en el frasco de Le Chatelier.

S = masa del espécimen saturado de superficie seca, (usada en el procedimiento gravimétrico para densidad y densidad relativa (gravedad específica), o para absorción con ambos procedimientos), g

S_1 = masa del espécimen saturado de superficie seca (usada en el procedimiento volumétrico para densidad y densidad relativa (gravedad específica)), g.

Densidad relativa (Gravedad relativa)

Densidad relativa (Gravedad específica) (Secada en Horno) Calcule la densidad relativa (gravedad específica), en la base secada en horno como sigue:

Procedimiento Gravimétrico.

$$\text{Densidad relativa (Gr Es) (OD)} = A / (B + S - C) \quad (1)$$

Procedimiento Volumétrico.

$$\text{Densidad relativa (Gr Es) (OD)} = [S_1 (A/S)] / [0.9975 (R_2 - R_1)] \quad (2)$$

Densidad relativa (Gravedad específica) (SSD)-Calcule la densidad relativa (gravedad específica) sobre la base saturada y superficialmente seca del agregado como sigue:

Procedimiento Gravimétrico:

$$\text{Densidad relativa (Gr Es) (SSD)} = S / (B + S - C) \quad (3)$$

Procedimiento Volumétrico:

$$\text{Densidad relativa (Gr Es) (SSD)} = S_1 / [0.9975 (R_2 - R_1)] \quad (4)$$

Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)-Calcule la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) como sigue:

Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad relativa aparente (Gr. Es. Aparente)} = A / [B + A - C] \quad (5)$$

Procedimiento volumétrico:

Densidad relativa aparente (Gr. Es. Aparente)

$$= \frac{S_1 (A/S)}{0.9975(R_2 - R_1) - (S_1/S)(S - A)} \quad (6)$$

Densidad (secada en horno)- Calcule la densidad sobre la base de agregado secado en horno como sigue:

Procedimiento Gravimétrico:

$$\text{Densidad (OD), kg/m}^3 = 997.5 A / (B+S-C) \quad (7)$$

$$\text{Densidad (OD), lb/pie}^3 = 62.27 A / (B+S-C) \quad (8)$$

Procedimiento Volumétrico.

$$\text{Densidad (OD), Kg/m}^3 = 997.5 S_1(A/S) / 0.9975(R_2 - R_1) \quad (9)$$

$$\text{Densidad (OD), lb/pie}^3 = 62.27 S_1(A/S) / 0.9975(R_2 - R_1) \quad (10)$$

Densidad (SSD)- Calcule la densidad sobre la base saturada y superficialmente seca del agregado como sigue:

Procedimiento Gravimétrico:

$$\text{Densidad (SSD), kg/m}^3 = 997.5 S / (B + S - C) \quad (11)$$

$$\text{Densidad (SSD), lb/pie}^3 = 62.27 S / (B + S - C) \quad (12)$$

Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad (SSD), kg/m}^3 = 997.5 S_1 / [0.9975 (R_2 - R_1)] \quad (13)$$

$$\text{Densidad (SSD), lb/pie}^3 = 62.27 S_1 / [0.9975 (R_2 - R_1)] \quad (14)$$

Densidad aparente - Calcule la densidad relativa aparente como sigue:

Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad aparente (SSD)} = 997.5 A / [B + A - C] \quad (15)$$

$$\text{Densidad aparente (SSD)} = 62.27 A / [B + A - C] \quad (16)$$

Procedimiento volumétrico

Densidad aparente (SSD), kg/m³ (17)

$$= \frac{997.5 S_1 (A/S)}{0.9975(R_2 - R_1) - \left(\left(\frac{S_1}{S} \right) (S-A) \right)}$$

Densidad aparente (SSD), lb/ft³ (18)

$$= \frac{62.27 S_1 (A/S)}{0.9975(R_2 - R_1) - \left(\left(\frac{S_1}{S} \right) (S-A) \right)}$$

Determinación de Gravedad Específica SSS y Absorción del Agregado Fino (ASTM C-128)

Calculo de Gravedad Especifica SSS

Masa SSS (g) "S"	Masa del Picnometro con agua, hasta marca de calibracion (gr) "B"	Masa del Picnometro con especimen y agua, hasta marca de calibracion (gr) "C"	Temperatura del agua (° C)	Gravedad Especifica SSS (S/(B+S-C))
500.5	670.4	975.3	23.1	2.56

Calculo de Porcentaje de Absorción

Masa SSS (g) "B"	Masa Seca (g) "A"	% Absorción ((B-A)/(A)100)
501.5	486.4	3.10



Ilustración 31: Realización de ensayo de Gravedad Especifica y Absorción de Agregados Finos.



Ilustración 32: Realización de ensayo de Gravedad Especifica y Absorción de Agregados Finos.

3.2.4 METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA DETERMINAR DENSIDAD APARENTE (PESO UNITARIO), E INDICE DE VACIOS EN LOS AGREGADOS ASTM C-29.

Alcance.

Este método de prueba cubre la determinación de la densidad bulk (peso unitario) de agregado en estado compactado o suelto y los vacíos calculados en agregados finos, gruesos o mezcla de ellos basados en la misma determinación. Este método de prueba es aplicable a agregados no excediendo 5 pulg. (125 mm) de tamaño nominal máximo.

Terminología.

Definiciones, están de acuerdo con la terminología C-125 a menos que se indique lo contrario.

Densidad Bulk, n de un agregado, la masa de la unidad de volumen de un agregado, en el cual el volumen incluye el volumen de las partículas individuales y el de los vacíos entre las partículas.

Peso unitario, n peso (masa) por unidad de volumen (termino en desuso, usar preferiblemente densidad bulk).

Vacíos, n en volumen unitario de agregados. El espacio entre las partículas en la masa de un agregado no ocupadas por materia solida mineral.

Discusión, vacíos dentro de partículas, ya sean permeables o impermeables, no están incluidas en los vacíos que se determina con este método de prueba.

Significado y uso.

Este método de prueba se utiliza a menudo para determinar valores de densidad Bulk, que es necesario para muchos métodos de selección de proporciones para mezclas de concreto.

La densidad Bulk, también puede utilizarse para determinar relaciones masa/volumen para conversiones en la compra de agregados. Sin embargo, se desconoce la relación entre el grado de compactación de los agregados en una unidad de transporte o acopio y el logrado en este método de prueba. Además, los agregados en unidades de transporte y acopios generalmente contienen

humedad absorbida y superficial (esta última afecta el volumen), mientras que este método de prueba determina la densidad aparente en base seca.

Se incluye un procedimiento para calcular el porcentaje de vacíos entre las partículas de agregado en función de la densidad Bulk determinada por este método de prueba.

Muestra de prueba.

El tamaño de la muestra será aproximadamente del 125 al 200 % de la cantidad requerida para llenar la medida, y se deberá manipular de manera que se evite la segregación. Seque la muestra de agregado hasta obtener una masa prácticamente constante, preferiblemente en un horno a 110 ± 5 °C [230 ± 9 °F].

Tabla 14: Capacidad del recipiente de medición.

Tamaño máximo nominal del agregado.		Capacidad del recipiente.	
Pulg.	mm.	Pie ³ .	Lt. (m ³)
½	12.5	1/10	2.8 (0.0028)
1	25.0	1/3	9.3 (0.0093)
1 ½	37.5	½	14 (0.014)
3	75.0	1	28 (0.028)
4	100.0	2 ½	70 (0.070)
5	125.0	3 ½	100 (0.100)

El tamaño indicado del recipiente debe ser usado para probar agregados de un tamaño nominal máximo igual o menor al que se muestra. El volumen real del recipiente debe ser por lo menos el 95% del volumen nominal listado.

Tabla 15: Requisitos para las medidas.

Capacidad del recipiente.	Fondo.	Parte superior 38mm o 1 ½” pulg de pared.	Resto de pared.
Menos de 0.4 pies 3	0.20 pulg.	0.10 pulg.	0.10 pulg.
0.4 pies3 a 1.5 pie3, inclusive	0.20 pulg.	0.20 pulg.	0.12 pulg.
Mas de 1.5 a 2.8 pie3, inclusive	0.40 pulg.	0.25 pulg.	0.15 pulg.
Mas de 2.8 a 4.0 pie3, inclusive	0.50 pulg.	0.30 pulg.	0.20 pulg.
Menos de 1 lt.	5.0 mm	2.5 mm	2.5 mm
De 11 a 42 lts, inclusive	5.0 mm	5.0 mm	3.0 mm
Mas de 42 a 80 lts, inclusive	10.0 mm	6.4 mm	3.8 mm
Mas de 80 a 130 lts, inclusive.	13.0 mm	7.6 mm	5.0 mm

El espesor agregado a la parte superior de la pared puede ser obtenido colocando una banda de refuerzo alrededor de la parte superior del recipiente.

Cálculos.

La densidad Bulk, Calcule la densidad aparente para el procedimiento de vara, punteo o palado de la siguiente manera:

$$M = (G-T) / V \quad (1)$$

$$M = (G-T) \times F \quad (2)$$

donde:

M = densidad aparente del agregado, kg/m³ [lb/ft³],

G = masa del agregado más la medida, kg [lb],

T = masa de la medida, kg [lb],

V = volumen de la medida, m³ [ft³], y

F = factor para la medida, m⁻³[ft⁻³].

La densidad Bulk determinada por este método de prueba es para agregado en condición seca al horno. Si se desea conocer la densidad aparente en términos de condición de superficie saturada y seca (SSD), utilice el procedimiento exacto de este método de prueba y luego calcule la densidad aparente de SSD utilizando la siguiente fórmula:

$$M_{ssd} = M[1 + (A/100)] \quad (3)$$

dónde:

M_{SSD} = densidad aparente en condición SSD, kg/m³ [lb/ft³], y

A = % de absorción, determinado de acuerdo con el método de prueba C127 o el método de prueba C128.

Contenidos de vacíos.

Calcule el contenido de vacíos en el agregado utilizando la densidad Bulk determinada por el procedimiento de varillado, punzonado o palado, de la siguiente manera:

$$\% \text{ Vacios} = 100[(S \times W) - M] / (S \times W) \quad (4)$$

dónde:

M = densidad aparente del agregado, kg/m³ [lb/ft³],

S = gravedad específica aparente (base seca) determinada de acuerdo con el método de prueba C127 o el método de prueba C128, y

W = densidad del agua, 998 kg/m³ [62,3 lb/ft³].

Volumen del recipiente.

Calcule el volumen del recipiente, de la siguiente manera:

$$V = (W - M) / D \quad (5)$$

$$F = D / (W - M) \quad (6)$$

dónde:

V = volumen del recipiente de medida, m³ [ft³]

W = masa del agua, del plato y del recipiente de medida, kg [lb]

M = masa del plato de vidrio y del recipiente de medida, kg [lb]

D = densidad del agua para la temperatura medida, kg/m³ [lb/ft³], y

F = factor del vaso de medida, 1/m³ [1 /ft³].

Cálculos del Peso Unitario de los Constituyentes.

ASTM C-29

Cemento ASTM C-150 tipo I

Pesos	PVS + tara		Tara	3.57	kg	((11.15-3.57)/0.00705)=1076 PVS
Peso 1	11.09		Volumen	0.00705	m ³	
Peso 2	11.15					
Peso 3	11.22					
promedio	11.15					
			1076	3.10	Kg/m ³	G.E. 3.10
						Absorcion

Arena Trituracion

Pesos	PVS + tara	PVV + tara	Tara	1.68	kg	G.E. 2.56
Peso 1	6.23	6.6	Volumen	0.00283	m ³	
Peso 2	6.23	6.61				Absorcion 5.50
Peso 3	6.22	6.64				((6.23-1.68)/0.00283)=1607 PVS
promedio	6.23	6.62				((6.62-1.68)/0.00283)=1744 PVV
			1607	1744	Kg/m ³	

Arena Reciclada

Pesos	PVS + tara	PVV + tara	Tara	1.68	kg	G.E. 2.28
Peso 1	5.36	5.76	Volumen	0.00283	m ³	
Peso 2	5.38	5.62				Absorcion 10.50
Peso 3	5.35	5.66				((5.36-1.68)/0.00283)=1302 PVS
promedio	5.36	5.68				((5.68-1.68)/0.00283)=1413 PVV
			1302	1413	Kg/m ³	



Ilustración 33: Preparación de la muestra para ensayo de Peso Unitario.



Ilustración 34: Calculo de ensayo Peso Unitario.

3.2.5 METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL DEL AGREGADO POR SECADO ASTM C-566.

Aplicación

Este método de ensayo cubre la determinación del porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado secando tanto la humedad superficial como la humedad en los poros del agregado. Algunos áridos pueden contener agua combinada químicamente con los minerales del árido. Dicha agua no es evaporable y no se incluye en el porcentaje determinado por este método de ensayo.

Significado y uso

Este método de ensayo es suficientemente preciso para los fines habituales, como el ajuste de las cantidades de ingredientes para el hormigón. Por lo general, medirá la humedad de la muestra de ensayo de forma más fiable de lo que se puede hacer que la muestra represente el suministro de áridos. En los casos en que el propio árido se vea alterado por el calor, o cuando se requiera una medición más refinada, el ensayo deberá realizarse utilizando un horno ventilado de temperatura controlada.

Procedimiento

Determinar la masa de la muestra con una precisión de 0,1 %.

Seque bien la muestra en el recipiente para muestras mediante la fuente de calor seleccionada, teniendo cuidado de evitar la pérdida de cualquier partícula. Un calentamiento muy rápido puede provocar la explosión de algunas partículas, con la consiguiente pérdida de partículas. Utilice un horno de temperatura controlada cuando el calor excesivo pueda alterar el carácter del agregado, o cuando se requiera una medición más precisa. Si se utiliza una fuente de calor distinta del horno de temperatura controlada, agitar la muestra durante el secado para acelerar la operación y evitar el sobrecalentamiento localizado. Si se utiliza un horno microondas, la agitación de la muestra es opcional.

Tabla 16: Tamaño de muestra para agregado.

Tamaño Máximo Nominal del Agregado mm (pulg.)	Masa de Peso Normal Muestra de Agregado, min. Kg.
4.75 (0.187) (No. 4)	0.5
9.5 (3/8)	1.5
12.5 (1/2)	2
19.0 (3/4)	3
25.0 (1)	4
37.5 (1 ½)	6
50 (2)	8
63 (2 ½)	10
75 (3)	13
90 (3 ½)	16
100 (4)	25
150 (6)	50

Cálculo

Calcule el contenido total de humedad evaporable de la siguiente manera:

$$p = 100 (W - D) / D$$

donde:

p = contenido total de humedad evaporable de la muestra, en porcentaje,

W = masa de la muestra original, g, y

D = masa de la muestra seca, g.

El contenido de humedad superficial es igual a la diferencia entre el contenido total de humedad evaporable y la absorción, con todos los valores basados en la masa de una muestra seca.

Cálculo de Humedad de Suelo:

Calculo de Humedad en Suelo	
Peso Tara (gr)	53.50
Peso Tara + Agregado Humedo(gr)	685.85
Peso Tara + Agregado Seco(gr)	654.05
Peso Tara - Agregado Humedo(gr)	632.35
Peso Tara - Agregado Seco(gr)	600.55
Humedad (gr)	31.80
% Humedad	5.30



Ilustración 35: Material de muestra para ensayo.



Ilustración 36: Calculo de peso de la muestra ensayada.

3.2.6 MUESTREO EN UNA MEZCLA FRESCA DE MATERIAL DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (MRBC) ASTM D-5971.

Alcance.

Esta práctica explica el procedimiento para obtener una muestra representativa para ensayo en una mezcla fresca de material de baja resistencia controlada (MRBC) como se entrega en el sitio del proyecto. La práctica incluye el muestreo de tambores revolvedores, camiones mezcladores y equipos agitadores usados para transporte desde la mezcladora central de MRBC.

Los valores declarados en unidades SI serán consideradas como el estándar. Las equivalencias en libras-pulgadas son mostradas solamente para información.

Esta práctica ofrece un conjunto de instrucciones para efectuar una o más operaciones específicas. Este documento no puede reemplazar la educación o experiencia y debe ser usado en conjunción con el juicio profesional. No todos los aspectos de esta práctica pueden ser aplicables en todas las circunstancias. Este estándar ASTM no pretende representar o reemplazar el estándar de cuidados por el cual la adecuación de un servicio profesional dado debe ser juzgado, no puede este

documento ser aplicado sin consideración de aspectos únicos de muchos proyectos. La palabra “estándar” en el título de este documento significa solamente que el documento ha sido aprobado a través del proceso de consenso ASTM.

Terminología.

Muestra Compuesta, una muestra construida mediante la combinación en igual proporción de muestras de agarre tomadas en dos o más intervalos regularmente espaciados durante la descarga de la media porción de la revoltura de MRBC.

Material de Resistencia Baja Controlada (MRBC), una mezcla de cemento portland, ceniza volante, agregados, agua y posiblemente aditivos químicos que, como el cemento hidrata, forma un material que reemplaza al suelo. El MRBC es por sí mismo compactable, fluido, un material cementante que primeramente es usado como un relleno o relleno estructural en lugar del relleno compactado o suelo natural no adecuado. Dependiendo de la cantidad de agua usada en la mezcla del MRBC, este puede ser colocado como un material compactado no fluido o como un mortero.

Consistencia de Flujo, medido por el diámetro promedio de la extensión lograda mediante la remoción del cilindro de flujo.

Significado y Uso.

Esta práctica deberá ser usada para proporcionar una muestra representativa del material con el propósito de ensayar varias propiedades. En los procedimientos usados en el muestreo será incluido el uso de toda precaución que asistirá en la obtención de muestras que sean verdaderamente representativas, de la naturaleza y condición del MRBC.





Ilustración 38: Muestreo de Material de Resistencia
Baia Controlada RFES.

3.2.7 CONSISTENCIA DE FLUJO EN MATERIAL DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (MRBC) ASTM D-6103.

Alcance.

Este método de ensayo cubre el procedimiento para la determinación de la consistencia de flujo en material de resistencia baja controlada (MRBC) fresco. Este método de ensayo aplica al MRBC fluido con un tamaño máximo de partículas de 19.0 mm (3/4 pulg.) o menos, o para la fracción de MRBC que pasa la malla de 19.0 mm (3/4 pulg.).

El método utilizado para especificar como se compilan los datos, calculado o registrado en esta norma, no está directamente relacionado con la precisión con la que los datos se pueden aplicar en el diseño u otros usos. El Material de Resistencia Baja Controlada (MRBC), también conocido como relleno fluido, relleno de densidad controlada, lechada de suelo cemento, grout de suelo cemento, relleno sin contracciones, K-kreto y otros nombres similares.

Terminología.

Definición de Términos Específicos a este Estándar:

Material de Resistencia Baja Controlada (MRBC), una mezcla de suelo o agregados, material cementante, ceniza volante, agua y algunas veces aditivos químicos, que endurecen en un material con una resistencia mayor que la del suelo, pero menos de 8400 Kpa (1200 psi). Usado como un reemplazo para rellenos compactados, MRBC puede ser colocado como una lechada, un mortero o un material compactado y típicamente su resistencia oscila entre 350 a 700 Kpa (50 a 100 psi), para muchas aplicaciones.

Consistencia de flujo, una medida de la extensión de un predeterminado volumen de MRBC, lograda mediante la remoción del cilindro de flujo dentro de un tiempo especificado.

Significado y Uso

Este método de ensayo está destinado a proporcionar al usuario con un procedimiento para determinar la fluidez de las mezclas MRBC para usarlo como relleno o relleno estructural.

Además, es considerado aplicable a MRBC fresco, conteniendo solamente arena como el agregado o teniendo agregado grueso menor de 19.0 mm (3/4 pulg.). Si el agregado grueso es más grande de 19.0 mm (3/4 pulg.), el método de ensayo es aplicable cuando es hecho en la fracción de MRBC pasando una malla de 19.0 mm (3/4 pulg.), con el agregado mayor siendo removido de acuerdo con la sección sobre Procedimiento Adicional para Concreto con Agregado de Sobre tamaño Máximo, de la Práctica C 172.

Este método de ensayo es uno de una serie de ensayos de control de calidad que pueden ser ejecutados en MRBC durante la construcción para monitorear la concordancia con los requerimientos de la especificación. Los otros ensayos que pueden ser usados durante el control de la construcción son los Métodos de Ensayo D 4832, D 6023, y D 6024.



Ilustración 39: Ensayo de Revenimiento del material procesado.



Ilustración 40: Ensayo de Consistencia de Flujo.



Ilustración 41: Ensayo de Consistencia de Flujo.

Datos de Revenimiento y Consistencia de Flujo de Relleno Fluido Ecológico Sustentable, RFES.

Data Relleno Fluido Ecologico Sustentable - RFES				
RFES		50 kg		
Inicial	Revenimiento pulg.	9 1/2"	9 1/2"	9 3/4"
	Peso Volumetrico kg/m ³	1973 Kg/m ³ , Rendimiento 1002 lt		
	Extension pulg.	8"	7 3/4"	7 1/2"
ACI 305, capitulo 2, Seccion 2.9.4 Proporcionamiento		20 min. ACI 305, 2.9.4 Procedimiento B		
Final	Revenimiento pulg.	7 1/2"	7 1/4"	7"
	Extension pulg.	5 1/2"	5"	4 1/2"
	Temperatura °C	26.5 °C	26.8 °C	26.5 °C

3.2.8 METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA TEMPERATURA DEL CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND RECIEN MEZCLADO ASTM C-1064.

Alcance.

Este método de prueba describe la determinación de la temperatura del concreto fresco de cemento hidráulico.

Los valores establecidos en unidades libra-pulgada o unidades SI deben considerarse separadamente como el estándar. Los valores establecidos en cada sistema no son exactamente equivalentes; por tanto, cada sistema debe ser usado independientemente del otro.

La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en no conformidad con esta especificación.

Este estándar puede incluir materiales peligrosos, operaciones y equipo. Este estándar no consigna o incluye todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien use este estándar, el consultar y establecer prácticas de seguridad y salud apropiadas y determinar la aplicabilidad de restricciones reguladoras antes de su uso.

Precaución, las mezclas frescas de cemento hidráulico son cáusticas y pueden causar quemaduras químicas en la piel o tejido por exposición prolongada.

Significado y uso.

Este método de prueba proporciona un medio para la determinación de la temperatura de mezclas de concreto fresco al momento de la prueba. La temperatura medida representa la temperatura en el momento de la prueba y puede no ser un indicador de la temperatura del concreto recién mezclado en momentos más tarde. Puede ser empleado para verificar el cumplimiento de un requerimiento especificado para la temperatura del concreto.

El concreto que contenga agregado de un tamaño máximo nominal mayor de 3 pulgadas (75 mm) puede requerir hasta 20 min. para la transmisión del calor del agregado al mortero (vea el reporte del Comité ACI 207.1R)



Ilustración 42: Ensayo de Temperatura a muestra fluida.



Ilustración 43: Temperatura de la muestra 24°C.

3.2.9 MÉTODO ESTÁNDAR PARA PESO UNITARIO, RENDIMIENTO, Y CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO (MÉTODO GRAVIMÉTRICO) ASTM C-138.

Alcance.

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad (ver nota 1) en mezclas de concreto fresco y proporciona fórmulas para calcular el volumen producido, contenido de cemento y contenido de aire del concreto. El volumen producido se define como el volumen de concreto producido con una mezcla de cantidades conocidas de los materiales que lo componen.

Los valores dados en ambas unidades libras-pulgada o SI serán considerados separadamente como los estándares. Las unidades SI son mostradas en paréntesis. Los valores dados pueden no ser exactamente equivalentes; entonces cada sistema puede ser usado independientemente del otro.

Nota 1 – El peso unitario fue la terminología previa usada para describir la propiedad determinada por este método de ensayo, el cual es masa por unidad de volumen.

El texto de este método de ensayo referencia notas y pie de notas que proporcionan información explicatoria. Estas notas y pie de notas (excluyendo aquellas en las tablas) no deben ser consideradas como requerimientos de este método de ensayo.

Terminología

Símbolos:

A = Contenido de aire (porcentaje de vacíos) en el concreto

C = contenido de cemento actual, lb/yd³ o kg/m³

Cd = masa de cemento en la revoltura, lb o kg

D = densidad (peso unitario) del concreto, lb/pie³ o kg/m³

M = masa total de todo el material de la revoltura, lb o kg (ver nota 3)

Mc = masa de la medida llena de concreto, lb o kg

Mm = masa de la medida, lb o kg

Ry = volumen relativo

T = densidad teórica del concreto calculado con base a aire libre, lb/ft³ o kg/m³ (ver nota 2)

Y = volumen de concreto producido por revoltura, yd³ o m³

Yd =volumen de concreto para el cual la mezcla fue diseñada para producir, yd³ o m³

Yf = volumen de concreto producido por revoltura, ft³ o m³

V = volumen absoluto total de los ingredientes componentes de la revoltura, ft³ o m³

Vm = volumen de la medida, ft³ o m³

Nota 2 La densidad teórica, se determina usualmente en laboratorio, se presupone que estos valores permanecerán constantes para todas las mezclas que se elaboren con los mismos ingredientes y proporcionamientos. Se calcula con la ecuación

$$T = M / V$$

El volumen absoluto de cada ingrediente en pies cúbicos es igual a su peso dividido por el producto de su gravedad específica por 62.4. EL volumen absoluto para cada ingrediente en metros cúbicos es igual a su peso en kilogramos, dividido entre 1,000 veces sum gravedad específica. Para los agregados, el peso específico bruto y su peso debe basarse en la condición de saturada y superficie seca”. Para el cemento, el Peso Específico debe ser determinado por el método de prueba C 188. Un valor de 3.15 puede ser usado para cementos manufacturados para cumplir con los requerimientos de la Especificación C 150.

Procedimiento

Base la selección del método de consolidación en el revenimiento, a menos que el método sea establecido en la especificación bajo el cual el trabajo está siendo desarrollado. Los métodos de consolidación son apisonamiento y vibración interna. Apisone concretos con revenimiento mayor de 3” (75 mm). Apisone o vibre concretos con revenimiento de 1 a 3” (25 a 75 mm). Consolide concretos con un revenimiento menor de 1” por vibración.

Apisonamiento

Coloque el concreto en el recipiente en tres capas de aproximadamente igual volumen. Apisone cada capa con 25 golpes de varilla cuando son usados recipientes de 0.5 pie³ (14 L) o menores, y con 50 golpes cuando se usen recipientes de 1 pie³ (28 L), y un golpe por cada 3 pulg² (20 cm²) de superficie para recipientes más grandes. Apisone la capa del fondo en su profundidad total sin golpear con fuerza el fondo del recipiente. Distribuya los golpes uniformemente sobre la superficie de cada capa. Para las dos capas superiores penetre aproximadamente 1" (25 mm) en la capa inferior. Después de apisonar cada capa, golpee suavemente los lados del recipiente de 10 a 15 veces con el mazo adecuado (ver sección 4.6) para cerrar huecos que haya dejado la varilla de apisonamiento y liberar burbujas de aire atrapadas. Añada la última capa evitando sobrellenar el recipiente.

Vibración Interna

Llene y vibre el recipiente en dos capas aproximadamente iguales. Vierta todo el concreto para cada capa antes de iniciar la vibración de esta. Inserte el vibrador en tres puntos diferentes de cada capa. Al compactar la capa del fondo no permita que el vibrador descanse o toque el fondo o los lados del recipiente. Al compactar la capa superior, el vibrador debe penetrar la capa inferior aproximadamente 1" (25 mm). Tenga cuidado de sacar el vibrador de modo que no quede aire atrapado en la muestra. La duración requerida de vibración dependerá de la consistencia del concreto y de la efectividad del vibrador (nota 7). Vibre el concreto sólo lo suficiente para lograr una consolidación adecuada (nota 8). Mantenga la vibración constante para cada tipo particular de concreto, vibrador y recipiente usado.

Al completar la consolidación del concreto el recipiente no debe contener un sustancial exceso o deficiencia de concreto. Un exceso de concreto de aproximadamente 1/8" (3 mm) por encima del borde del recipiente es lo óptimo. Se puede agregar una cantidad pequeña de concreto si es necesario. Si el recipiente contiene un gran exceso de concreto al completar la consolidación, remueva una porción representativa del exceso de concreto con una espátula o cuchara, inmediatamente después de completar la consolidación y antes de remover el excedente.

Remoción del exceso de concreto

Después de la compactación remueva el excedente de concreto de la superficie y termínela suavemente con la placa de perfilado teniendo cuidado de dejar el recipiente adecuadamente lleno y nivelado. La remoción y aplanado se logra mejor presionando la placa de perfilado sobre la superficie del recipiente cubriendo aproximadamente dos tercias partes de esta y retirando la placa con movimiento a manera de serrucho sobre el área cubierta. Luego coloque la placa en el borde superior del recipiente, cubriendo los dos tercios originales y avance con presión vertical y movimiento de aserrado sobre toda la superficie. Varias pasadas con el borde de la placa inclinado producirán un acabado liso.



Ilustración 44: Preparación de la muestra para ensayo.



Ilustración 45: Preparación de la muestra para ensayo.

3.2.10 MÉTODO ESTÁNDAR PARA TIEMPO DE FRAGUADO POR RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MEZCLAS. DE CONCRETO (MEDIANTE UN PENETRO-METRO DE BOLSILLO, AGUJA DE 1/20" DE DIÁMETRO DE PENETRACIÓN) ASTM C-403.

Alcance.

Este método de prueba cubre la determinación del tiempo de fraguado del concreto, con revenimientos más grandes que cero por medio de mediciones de resistencias a la penetración sobre morteros tamizados de la mezcla de concreto.

Este método de prueba es adecuado para usarlo solamente cuando la fracción del mortero de prueba a provisto la información requerida.

Este método de prueba puede también ser aplicado para preparar morteros y lechadas.

Este método es aplicable bajo condiciones controladas en el laboratorio, también bajo condiciones del campo.

Los valores dados en unidades pulgada-libra o en unidades SI deberán ser considerados como estándar separadamente. Los valores dados en cada sistema pueden no ser equivalentes exactos; por eso cada sistema deberá ser usado independientemente, sin combinan valores en cualquier manera.

Este estándar no tiene el propósito de dirigir todo lo concerniente a la seguridad, si la hay, asociada con su uso, es responsabilidad del usuario de este estándar el establecer las prácticas apropiadas de seguridad e higiene y determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su uso.

Significado y Uso.

Dado que el proceso de fraguado del concreto es gradual, cualquier definición de tiempo de fraguado debe necesariamente ser arbitraria. En este método de prueba, el tiempo requerido para el mortero para alcanzar valores especificados de resistencia a penetración es usado para definir tiempos de fraguado.

Este método de prueba puede ser usado para determinar los efectos de variables tales como contenido de agua, marca, tipo y cantidad de materiales cementícios, o mezclas; sobre el tiempo de fraguado del concreto. Este método también puede ser usado para determinar el cumplimiento con los requerimientos especificados de tiempo de fraguado.

Este método puede también ser aplicado para preparar morteros y lechadas. Sin embargo, cuando el tiempo de fraguado del concreto es deseado, la prueba deberá ser ejecutada sobre un mortero tamizado del mezcal del concreto y no intentado sobre un mortero preparado para simular la fracción el mortero de concreto; ha sido mostrado que el tiempo inicial y final de fraguado puede ser incrementado usando el mortero preparado.



Ilustración 46: Ensayo con Penetrómetro de bolsillo.



Ilustración 47: Ensayo con Penetrómetro de bolsillo.

Tiempo de Fraguado por Resistencia a la Compresión, mediante penetrómetro de bolsillo.

Relleno Fluido Ecologico Sustantable (RFES)

Tiempo de Fraguado Inicial

Fecha	
Planta	KSA1
Hora Cargue	
Mixer	
Recibo No.	
Asentamiento	

Diseño	
Codigo	
Cant. Cemento 175 kg	175 kg
Tipo Cemento	ASTM C-150 tipo I
Cant. Aditivo	
Tipo Aditivo	

24.9 °C Prom. RFES

						Laboratorio
Hora	min	Δt	Temp. °C	Viento kl/h	%H	Lectura PSI
7:12	0	0	28.0	0.0	80.1	0
10:00	168	168	30.2	0.0	65.8	80
10:30	30	198	32.7	0.0	51.9	120
11:00	30	228	33.0	0.0	54.1	220
11:15	15	243	34.5	0.0	51.5	260
11:30	15	258	34.1	0.0	52.8	280
12:00	30	288	35.5	0.0	51.2	420
12:20	20	308	36.7	0.0	46.5	680

TFI Inicial: **4:54** Hora/min

3.2.11 PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA ELABORACIÓN Y CURADO EN EL LABORATORIO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO PARA ENSAYO ASTM C-192.

Alcance.

Esta práctica cubre el procedimiento para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio bajo controles precisos de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto que puede ser consolidado por varillado o vibrado como se describe aquí.

Los valores dados en unidades SI o en lb-pulg deben ser considerados separadamente como estándar. Las unidades SI son mostrados en corchetes. Los valores dados en cada sistema pueden

no ser equivalentes; por lo tanto, cada sistema debe ser usado independientemente uno del otro. La combinación de valores de dos sistemas puede resultar en que no hay concordancia.

Este estándar no pretende señalar todos los problemas de seguridad, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma, establecer la seguridad apropiada y practicas saludables, así como determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso

Significado y Uso

Esta práctica provee los requerimientos estandarizados para la preparación de materiales, mezclado de concreto y elaboración y curado de especímenes de concreto bajo condiciones de laboratorio.

Si la preparación del espécimen es controlada como se estipula aquí, los especímenes pueden ser usados como información para los siguientes propósitos:

- ✓ Proporcionamientos de mezcla para proyecto de concreto
- ✓ Evaluación de diferentes mezclas y materiales
- ✓ Correlación con ensayos no destructivos
- ✓ Suministrar especímenes para propósitos de investigación

Tabla 17: Número de Capas Requeridas para los Especímenes.

Tipo y Tamaño Espécimen	Modo de Consolidación	No. Capas de Igual Profundidad
Cilindros: Diámetro, pulg. (mm)		
3 o 4 (75 a 100)	Varillado	2
6 (150)	Varillado	3

9 (225)	Varillado	4
Arriba de 9 (225)	Vibrado	2
Prismas y Cilindros de llenado horizontal		
Profundidad, pulg. (mm)		
Hasta 8 (200)	Varillado	2
Arriba de 8 (200)	Varillado	3 o más
Hasta 8 (200)	Vibrado	1
Arriba de 8 (200)	Vibrado	2 o más



Ilustración 48: Elaboración de especímenes con la mezcla del Relleno Fluido Ecológico Sustentable RFES, para ser ensayado luego.



Ilustración 49: Curado de especímenes con la mezcla del Relleno Fluido Ecológico Sustentable RFES, para ser ensayado luego.

3.2.12 PREPARACIÓN Y ENSAYO DE CILINDROS DE MATERIAL DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (MRBC) ASTM D-4832.

Alcance.

Este método de ensayo cubre los procedimientos para la preparación, curado, transporte y ensayo de especímenes cilíndricos de material de resistencia baja controlada (MRBC) para la determinación de la resistencia a la compresión.

Este método de ensayo también puede ser usado para preparar y ensayar especímenes de otras muestras de suelo y material cementante, tales como cenizas volantes auto cementantes.

MRBC es también conocido como relleno fluido, relleno de densidad controlada, lechada de suelo cemento, grout de suelo-cemento, relleno sin contracción, K-Kreto y otros nombres similares.

Los valores declarados en unidades SI serán consideradas como el estándar. Las equivalencias en libras-pulgadas son mostradas solamente para información.

Este estándar no pretende dar dirección a todo lo concerniente a seguridad, si hay alguna, asociada con su uso. Es responsabilidad del usuario de este estándar establecer la seguridad apropiada y prácticas saludables, así como determinar la aplicabilidad de las limitaciones regularais previas a su uso.

Terminología

Definiciones: Para definiciones de términos comunes en este estándar, refiérase a Terminología D 653. Definición de Términos Específicos a este Estándar: Material de resistencia baja controlada (MRBC), n—una mezcla de suelo, material cementante, agua y algunas veces aditivos, que endurecen en un material con una resistencia mayor que el suelo, pero menos de 8400 Kpa (1200 psi). Usado como un reemplazo para rellenos compactados, MRBC puede ser colocado como una lechada, un mortero, o un material compactado y típicamente tiene resistencias de 350 a 700 kPa (50 a 100 psi) para muchas aplicaciones.

Significado y Uso

Este método de ensayo es usado para preparar y ensayar especímenes cilíndricos de MRBC para determinar la resistencia a compresión del material endurecido.

MRBC es típicamente usado como un material de relleno alrededor de las estructuras, particularmente en espacios confinados o limitados. El ensayo de resistencia a compresión es efectuado para dar asistencia en el diseño de la mezcla y para servir como una técnica de control durante la construcción. El diseño de la mezcla es típicamente basado en la resistencia a 28 días y ensayos de control de la construcción son efectuados 7 días después de la colocación. La resistencia a la compresión y ensayos a otras edades variarán de acuerdo con los requerimientos para el producto terminado. Información adicional sobre el uso e historia del MRBC está contenida en el Apéndice X1.

Este ensayo es uno de una serie de ensayos de control de calidad que pueden ser efectuados en el MRBC durante la construcción para monitorear la concordancia con los requerimientos de la especificación. Los otros ensayos que pueden ser usados durante el control de la construcción del MRBC son los Métodos de Ensayo D 5971, D 6023, D 6024, y D 6103.

Hay muchas otras combinaciones de suelos, cemento, cenizas volantes (cementantes o no), aditivos u otro material que puede ser ensayado usando este método. Las mezclas pueden variar dependiendo del uso pretendido, disponibilidad de los materiales y requisitos de colocación.



Ilustración 50: Revision de muestra a ensayar.



Ilustración 51: Cilindro RFES siendo sometido a compresión.

3.2.13 ESPECIFICACIÓN ESTÁNDAR PARA MOLDES PARA ENCOFRADO VERTICAL DE CILINDROS DE CONCRETO ASTM C-470.

Alcance

Esta especificación cubre los moldes para uso en el encofrado de especímenes cilíndricos de concreto. Las estipulaciones de esta especificación incluyen los requerimientos para moldes reusables y desechables.

Los valores dados en unidades SI o en otras deben ser considerados separadamente como los estándares. Los valores dados en cada sistema pueden no ser equivalentes; por lo tanto, cada sistema debe ser usado independientemente uno del otro, sin combinar. Las unidades pulg-lb son mostradas en corchetes.

Los siguientes riesgos de seguridad son pertinentes al método de ensayo descrito en esta especificación: Este estándar no pretende señalar todos los problemas de seguridad, si hay alguno, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma, establecer la seguridad apropiada y prácticas saludables, así como determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.

El texto de este, estándar referencia notas y pie de notas, las cuales proveen material de explicación. Estas notas y pie de notas (excluyendo aquellas de las tablas y figuras) no deben ser considerados como requerimientos de la norma.

Requerimientos Generales

Las siguientes estipulaciones aplican tanto a moldes reusables y a desechables:

Los moldes deben ser contruidos con la forma de cilindros circulares rectos, los cuales se mantengan con el eje cilíndrico vertical y la parte superior abierta para recibir el concreto. Deben estar elaborados con material que no reaccionen con el concreto conteniendo cemento portland u otros cementos hidráulicos. Deben ser herméticos y suficientemente fuertes y duros para permitir su uso contra rasgadura, aplastamiento o deformación.

Los moldes deben tener una altura interna nominal igual a dos veces el diámetro interno nominal. El diámetro de un molde consiste en el promedio de dos medidas tomadas en ángulo recto uno con respecto al otro en la parte superior del mismo. La altura, determinada por el promedio de dos medidas tomadas a un espacio de 180°, no debe diferir de la altura nominal por más de 2%. La superficie del borde superior del molde y el fondo deben estar perpendiculares al eje del molde dentro de 0.5 grados, aproximadamente 3 mm en 300 mm [1/8 pulg en 12 pulg]. Ningún diámetro del molde debe diferir con respecto a otro del mismo molde por más de 2%, excepto aquellos moldes que no cumplen con estos requerimientos pueden ser usados cuando el usuario es capaz de demostrar que ningún diámetro de un espécimen de concreto endurecido producido en un molde similar, difiere de cualquier otro diámetro del mismo espécimen por más del 2%.

La superficie interna del fondo del molde no debe alejarse de un plano por más de 2 mm en 150 mm [1/16 pulg en 6 pulg] (1% del diámetro del molde).

Tabla 18: Límites para Absorción y Elongación.

Altura Nominal del Molde mm (pulg.)	Absorción, máx. g	Elongación, máx. mm (pulg.)
100 (4)	2.7	0.2 (0.008)
150 (6)	6.0	0.3 (0.012)
200 (8)	11	0.4 (0.016)
300 (12)	24	0.6 (0.024)
450 (18)	54	0.9 (0.036)
600 (24)	96	1.2 (0.048)
900 (36)	216	1.8 (0.072)



Ilustración 52: Moldes para cilindros según norma ASTM C470.



Ilustración 53: Moldes para cilindros según norma ASTM C470.

3.2.14 MÉTODO ENSAYO ESTÁNDAR PARA ESFUERZO DE COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE CILINDROS DE CONCRETO ASTM C-39.

Alcance.

Este método de prueba cubre la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto tales como cilindros moldeados y núcleos taladrados. Está limitada al concreto teniendo una densidad de 800kg/m³ (50 lb/pie³).

Los valores establecidos tanto en unidades pulg-libra o unidades SI son considerados separadamente como el estándar. Las unidades SI son mostrados en paréntesis. Los valores establecidos en cada sistema pueden no ser exactamente equivalentes; por tanto, cada sistema deberá ser usado independientemente. Combinando valores de los dos sistemas puede resultar en no conformidad con el estándar.

Este estándar no tiene el propósito de dirigir en todo lo concerniente a la seguridad, si hay, asociada con su uso. Es responsabilidad del usuario de este estándar el establecer las prácticas apropiadas de seguridad e higiene y determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su uso. **(Precaución:** Debería ser provisto algún medio para contener fragmentos de concreto durante la rotura súbita de especímenes. La tendencia de la rotura súbita incrementa con cada incremento de resistencia del concreto y es mayormente posible cuando la máquina de prueba es relativamente flexible. Las precauciones de seguridad dadas en el manual de agregados y concretos son recomendados).

Significado y Uso.

Deberían tomarse cuidados en la interpretación del significado de las determinaciones de resistencia a la compresión por este método de prueba ya que la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del concreto hecho de materiales dados. Los valores obtenidos dependerán del tamaño y forma de los especímenes, hecha del lote, procedimientos de mezcla, métodos de muestreo, moldeo, fabricación, edad, temperatura y condiciones de humedad durante el curado.

Este método de prueba es usado para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos preparados y curados de acuerdo con las prácticas C 31/C 31M, C 192/C 192M, C 617 y C 1231/C 1231M y métodos de prueba C 42/C 42M y C 873.

Los resultados de este método de prueba son usados como base para el control de calidad para la formulación del concreto, el mezclado y operaciones de colocado; la determinación del cumplimiento con las especificaciones; control para evaluar efectividad de aditivos; y usos similares.

El personal que realice pruebas en cilindros de concreto para pruebas de aceptación deberá cumplir los requerimientos para técnicos de laboratorio de concreto de la práctica C1077, incluyendo los requerimientos de evaluación de desempeño que es realizado por un examinador independiente.



Ilustración 54: Muestras recién empaquetadas para ser guardadas.



Ilustración 55: Muestras ya preparadas, esperando a ser ensayadas a compresión.



Ilustración 56: Cilindro de mezcla RFES, sometido a compresión.

3.2.15 PROPORCIONAMIENTO, SEGUIMIENTO PARA EL TRANSPORTE, ENTREGA Y EVALUACION DE RFES.

Pasos y Consideraciones:

1. Propósito y Uso: determinar el uso específico del relleno fluido, ya sea para rellenos simples, estructurales u otros usos;
2. Resistencia: Establecer la resistencia a compresión requerida;
3. Selección de los materiales adecuados, que pueden incluir agregados económicos y aquellos que no cumplen con las normativas para ser utilizados;
4. Proporcionamiento de Mezcla: Establecer el proporcionamiento de los constituyentes que mejor se adapten a las solicitudes del proyecto.
5. Características: Consistencia, la que mejor se ajuste según los requerimientos de la aplicación; Permeabilidad: ajustarse al uso previsto; Durabilidad: No están diseñados para resistir abrasión, ataques químicos, congelación y deshielo;
6. Entrega y Colocación de Forma Industrial: El relleno fluido se entrega en camiones mezcladores atendiendo las recomendaciones del caso, vertido directamente, puede ser transportado por bombeo, canaletas, carretillas, no requiere curado, pero se deben de tomar en cuenta las previsiones del caso hasta el endurecimiento.
7. Ensayos de Control de Calidad: Cumplimiento de las especificaciones técnicas, y de no existir las especificaciones técnicas, seguir las buenas prácticas aplicables.

Estos pasos aseguran que el Relleno Fluido cumpla con los requisitos especificados de la aplicación y se coloque de manera eficiente, segura y de calidad.



Ilustración 57: Carga de materiales constituyentes para los diseños propuestos.



Ilustración 58: Transporte de material de rechazo, para ser triturado y ser reutilizado.

Proporcionamiento de Relleno Fluido Ecológico Sustentable (RFES).

Proporcionamiento de MRBC (RFES)

f'_c

30

kg/cm²

Tipo

Relleno Fulido Ecologico Sustentable

Revenimiento nominal

9 1/2"

±

1 1/2"

"

Estimación Inicial de Agua de Mezcla

300

Litros

Agua de Mezcla de Diseño

295

Litros / m³

Material	Identificación		Densidad S.S.S	Peso Vol. Seco Suelto
Cemento	Holcim ASTM C-150 tipo I		3.10	1076
Material 1	Arido Fino Manufacturado		2.56	1744
Material 2	Arido Reciclado Fino		2.28	1413
Dosificación de Aditivos			Densidad ml/Kg	
Aditivo 1	Aire		0.00	0.00
Aditivo 2	Acelerante		0.00	0.00
Aditivo 3	Reductor		0.00	0.00
Material	Consumo		0	
	Kg/m³	Volumenes l/m³	V. Absolutos	V. Seco Suelto
Holcim ASTM C-150 tipo I	175	56	1.00	1.00
Agua	295	295	5.23	5.23
Vacíos	0.03	25		
Arido Fino Manufacturado	1078	421	7.46	3.80
Arido Reciclado Fino	462	203	3.59	2.01
Aire	0	0	% en Peso	
Acelerante	0	0	Cemento	8.71%
Reductor	0	0	Agua	14.68%
Suma	2010	1000	Agregado 1	53.63%
Pasta % Vol.	35.15%		Agregado 2	22.98%
A/C Final =	1.69		Suma	100.00%

Proporcion A por Volumen Absoluto, 1:6:9:4		
1.0	volumen	Cemento
6.0	volumen	Agua
9.0	volumen	Arena triturada
4.0	volumen	Arena reciclada
En este caso el volumen puede ser por ejemplo, cubetas, etc.		

Proporcion B por Volumen Seco Suelto, 1:6:4.5:2.5		
1.0	volumen	Cemento
6.0	volumen	Agua
9.0	volumen	Arena triturada
4.0	volumen	Arena reciclada
En este caso el volumen puede ser por ejemplo, cubetas, etc.		

CAPITULO IV:

ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.

CAPITULO IV: ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.

INTRODUCCION

En la presente investigación se da a conocer el análisis e interpretación de los resultados obtenidos durante la evaluación de un Relleno Fluido Ecológico Sustentable. Se pretende determinar su viabilidad técnica, comportamiento mecánico, y potencial de aplicación en obras civiles, considerando además su impacto ambiental y eficiencia en el uso de recursos.

Se realizaron pruebas, atendiendo las recomendaciones que apliquen de la guía ACI 211.1-91 y la experiencia local en el proporcionamiento del Relleno Fluido Ecológico Sustentable de cemento hidráulico sin materiales cementantes y aditivos químicos, este Relleno Fluido Ecológico Sustentable RFES, está compuesto de agregados finos reciclados y manufacturados de peso normal combinados adecuadamente para proporcionar una trabajabilidad adecuada y una resistencia determinada.

La investigación se basa en ensayos de laboratorio y pruebas de campo que permiten caracterizar propiedades como la resistencia a la compresión, la fluidez, el tiempo de fraguado y la estabilidad volumétrica. Asimismo, se consideran aspectos como el uso de materiales reciclados, la reducción de emisiones de CO₂ y el consumo energético asociado a su producción.

A través de este análisis, se busca contribuir al desarrollo de soluciones constructivas más responsables con el medio ambiente, sin comprometer la seguridad ni la funcionalidad de las obras. Los resultados obtenidos permitirán establecer recomendaciones para su implementación práctica y fomentar el uso de tecnologías más limpias en el sector de la construcción.

4.1 ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS PARA EL RELLENO FLUIDO ECOLOGICO SUSTENTABLE.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada ensayo, siguiendo los lineamientos establecidos en las normas ASTM correspondientes.

Además, los datos obtenidos fueron procesado, tabulados y graficados para facilitar su interpretación, permitiendo así una mejor comprensión de las variaciones observadas en cada prueba.

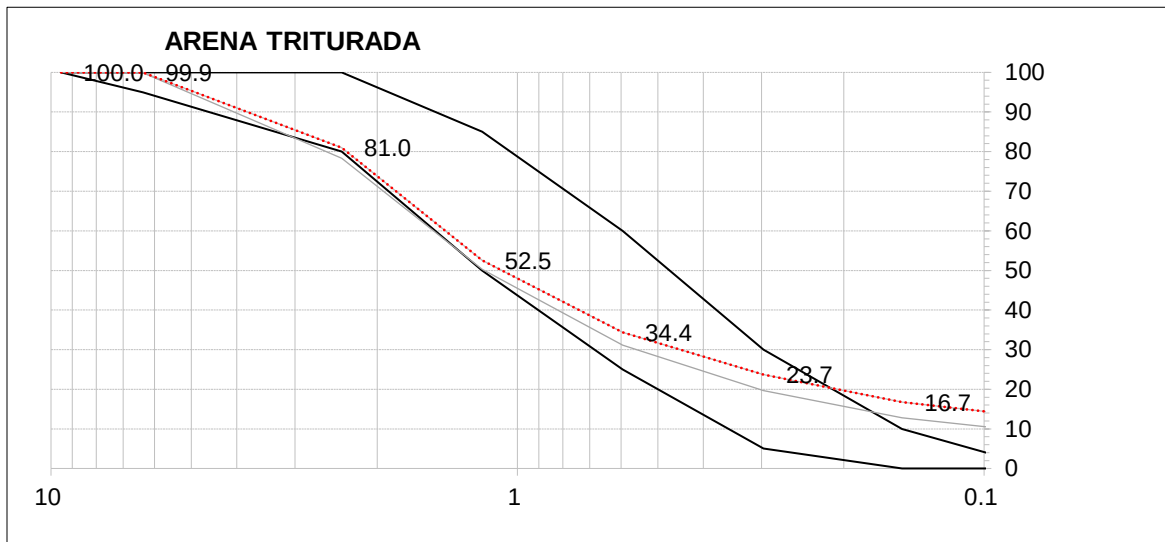
4.2 METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA ANALISIS POR TAMIZADO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS ASTM C-136.

El ensayo ASTM C-136, es usado para la determinación la distribución del tamaño de las partículas de los agregados gruesos y finos, por lo que se presentan las granulometrías de los agregados ensayados.

Tabla 19: Granulometría Arena Triturada.

A1				
Denominación: Procedencia: G.E. Absorción		Arena Triturada		RT
		Tepeagua		
		2.56		
		3.1	%	
ARENA No.1			70	%
Malla	Peso Ret.	Peso Ret.	Peso Ret.	%
	(g)	(%)	Acum. (%)	Que Pasa
3/8 "	0.00	0.0	0.0	100.0
No. 4	0.50	0.1	0.1	99.9
No. 8	161.10	19.0	19.0	81.0
No. 16	241.50	28.4	47.5	52.5
No. 30	153.80	18.1	65.6	34.4
No. 50	90.80	10.7	76.3	23.7
No. 100	59.20	7.0	83.3	16.7
No. 200	33.70	4.0	87.2	12.8
Charola	108.40	12.8	100.0	0.0
Total	849.0	100.0		100.0
		Módulo de finura	2.92	

Grafica 1: Arena Triturada.



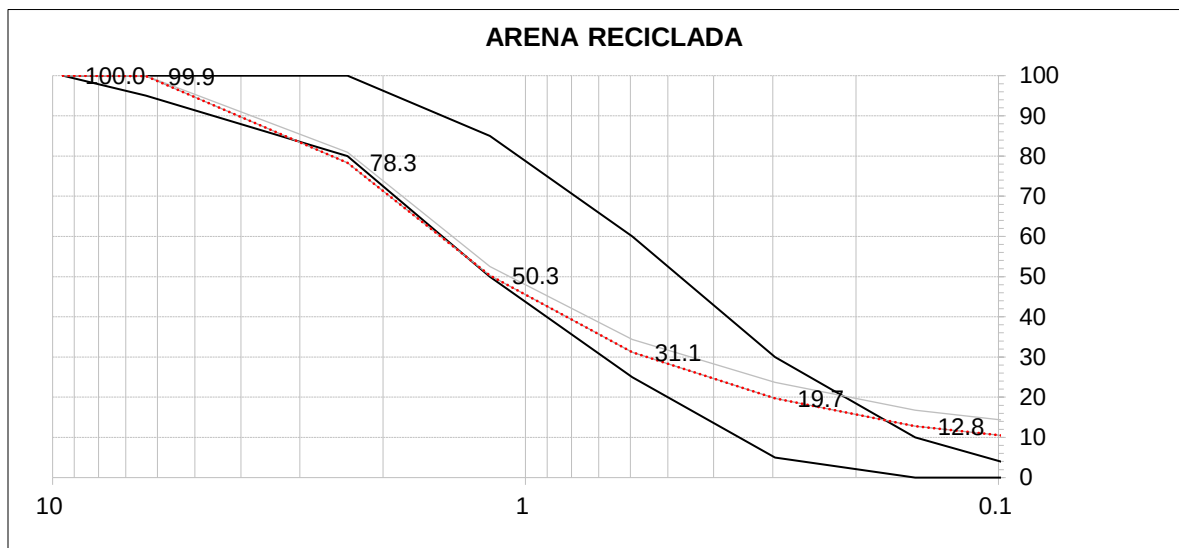
En el análisis individual de la arena triturada, no cumple con los límites establecidos, pero muestra la tendencia dentro estos límites a una condición de **arena gruesa** hasta el tamiz #30 y una mejor característica entre los tamices #30 y #50, así como también un exceso de fino cercano al tamiz #50 en adelante. Las arenas gruesas disminuyen el consumo de agua, por ende, disminuye la relación A/C, la trabajabilidad se vería afectada a alta fluidez por falta de cohesión, estas propiedades mejorarán a medida que se compense y se incremente la cantidad de Cemento de los Diseños en la Curva de Resistencia.

Tabla 20: Granulometría Arena Reciclada.

A2				
Denominación:		Arena Reciclada		AR
Procedencia:		Tepeagua		
G.E.		2.28		
Absorción		10.5		
			%	
ARENA No.2			30	%
Malla	Peso Ret.	Peso Ret.	Peso Ret.	%
	(g)	(%)	Acum. (%)	Que Pasa
3/8 "	0.00	0.0	0.0	100.0
No. 4	1.10	0.1	0.1	99.9
No. 8	169.30	21.5	21.7	78.3
No. 16	220.90	28.1	49.7	50.3
No. 30	150.40	19.1	68.9	31.1
No. 50	90.10	11.5	80.3	19.7

No. 100	54.40	6.9	87.2	12.8
No. 200	29.80	3.8	91.0	9.0
Charola	70.70	9.0	100.0	0.0
Total	786.7	100.0		100.0
		Módulo de finura	3.08	

Gráfica 2: Arena Reciclada

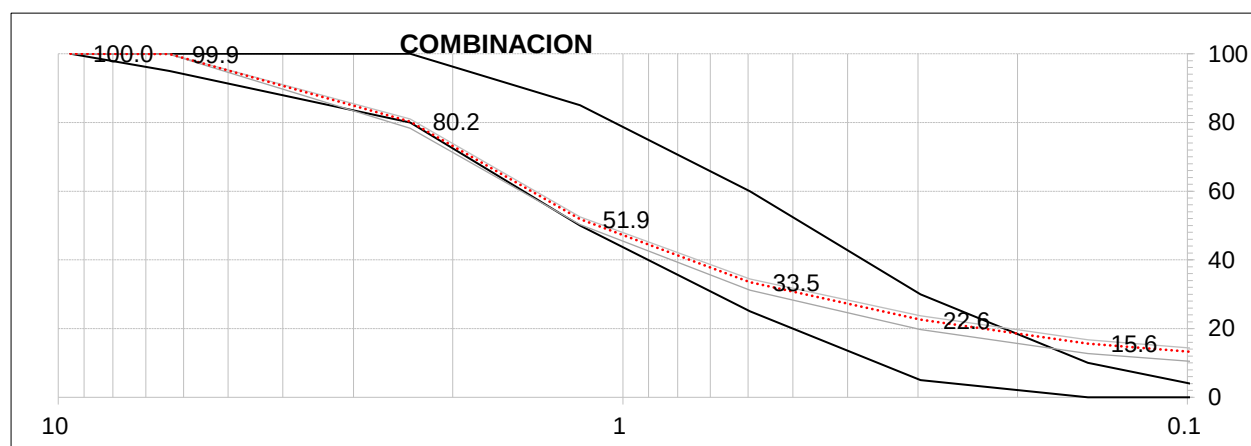


En el análisis individual de la arena reciclada, al igual que la arena triturada no cumple con lo especificado, e inicia con una tendencia más fina que arena triturada hasta el tamiz #8 en cuanto a los límites establecidos intermedios entre los tamices #30 y #50 presenta una condición favorable, la tendencia en general en los límites establecidos, tiende a una condición de **arena gruesa** hasta el tamiz #30 y una mejor característica entre los tamices #30 y #50, así como también un exceso de fino iniciando del tamiz #100 en adelante. Al igual que la arena triturada, las arenas gruesas presentes en la Arena Reciclada disminuyen también el consumo de agua, por ende, disminuye la relación A/C, la trabajabilidad se vería afectada en su alta fluidez por falta de cohesión en la combinación de estas, estas propiedades mejorarán a medida que se compense y se incremente la cantidad de cemento de Los Diseños de la Curva de Resistencia.

Tabla 21: Granulometría de la combinación de constituyentes finos.

Combinación				
Malla	Peso Ret. (g)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum. (%)	% Que Pasa
3/8 "	0.0	0.0	0.0	100.0
No. 4	0.7	0.1	0.1	99.9
No. 8	163.6	19.7	19.8	80.2
No. 16	235.3	28.3	48.1	51.9
No. 30	152.8	18.4	66.5	33.5
No. 50	90.6	10.9	77.4	22.6
No. 100	57.8	7.0	84.4	15.6
No. 200	32.5	3.9	88.3	11.7
Charola	97.1	11.7	100.0	0.0
Total	830.3			100.00
		Módulo de finura	2.96	

Grafica 3: Combinación de constituyentes finos.



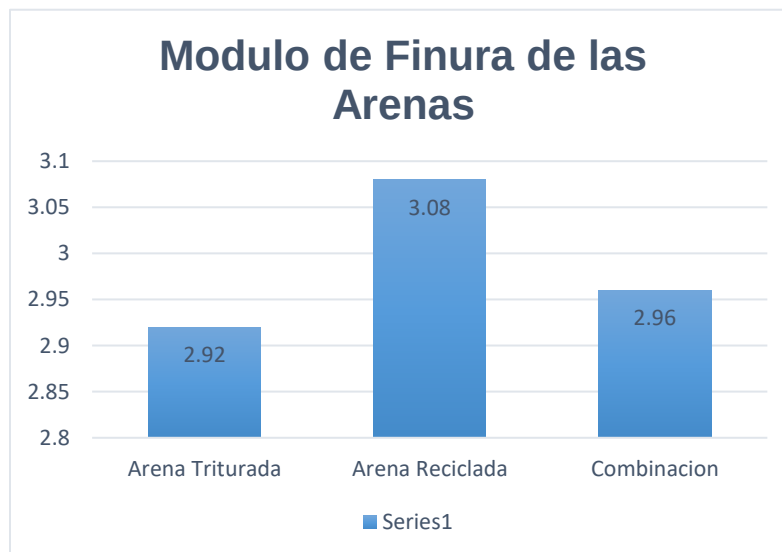
De acuerdo con el estudio de las arenas combinadas o integral, esta no cumple, muestra la tendencia dentro de los límites con la condición de **arena gruesa** hasta el tamiz #30 y una mejor característica entre los tamices #30 y #50, así como también un exceso de fino cercano al tamiz #50 en adelante. En el análisis granulométrico de la combinación de ambas arenas, se observó que estas están por fuera de los límites de la curva integral, sin embargo, a pesar de esta condición, se espera que el fino del material cementicio compense esa deficiencia y se mejore con el incremento de este constituyente en Los Diseños.

Módulo de Finura.

De acuerdo con los datos de módulo de finura, a pesar de estar dentro de los límites establecidos (2.3 a 3.1), se puede tipificar como **arena gruesa**, con un excedente de finos de 11.7% pasante del tamiz #200, lo cual implica una probabilidad de dificultad en la operación de bombeabilidad en la mezcla, con tendencia a segregación a altas condiciones de fluidez.

La documentación técnica y experiencia ha demostrado que se debe prestar especial atención a las fracciones que pasan por los tamaños de malla más finos. Al menos entre el 15 % y el 30 % debe pasar por la malla # 50 y entre el 5 % y el 10 % por la # 100, los agregados finos deficientes en cualquiera de estos dos tamaños y como recomendación deben mezclarse con arenas finas seleccionadas. Sabiendo que un MF bajo nos demandará mayor cantidad de agua y cemento, y al no tener control de esto reducirá la resistencia del RFES, al contrario, cuando el MF es alto, no demanda mucha agua y cemento, sin embargo, si el agregado es muy grueso, la mezcla puede volverse menos cohesivo, por lo que estando en medio de ambos rangos se espera que las mezclas propuestas del RFES, mantengan las características de trabajabilidad y resistencia a manera satisfactoria.

Gráfico 4: Comparativo de los módulos de finura de los constituyentes finos.



4.3 METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA N° 200 (75MM) EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO ASTM C-117.

Tabla 22: Material Fino de Arena Triturada.

Agresal			
Material más fino que la malla #200 (método por lavado ASTM C-117)			
Fecha	17-ene-25	fecha de ensayo	17-ene-25
Hora muestreo	09:00	Agregado	Arena Triturada
N° muestra	Pas 001 ATRR	Laborante	Mario Villalobos
Masa seca inicial	848.6		Gr
Masa seca después de lavado	742.5		Gr
% de material fino que la malla #200			
Valor obtenido	12.5		%
Redondeo final >10%	13		%

Tabla 23: Material Fino de Arena Reciclada.

Agresal			
Material más fino que la malla #200 (método por lavado ASTM C-117)			
Fecha	17-ene-25	fecha de ensayo	17-ene-25
Hora muestreo	09:00	agregado	Arena Aggneo
N° muestra	Pas 001 ATRG	Laborante	Mario Villalobos
Masa seca inicial	785.6		Gr
Masa seca después de lavado	717.7		gr
% de material fino que la malla #200			
Valor obtenido	8.6		%
Redondeo final >10%	-		%

De acuerdo con los ensayos realizados (ASTM C-117) por el método de pérdida por lavado por el tamiz #200 de ambos agregados, estos no cumplen con la especificación ASTM C-33 debido a que sobrepasa en lo especificado para los finos pasante del tamiz #200 la cual requiere un valor menor o igual ($\leq$) al 7%, sin embargo. para Materiales de Resistencia Baja Controlada MRBC no aplica, ya que se pueden utilizar materiales no normalizado.

4.4 METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) Y LA ABSORCION DE AGREGADOS FINOS ASTM C-128.

Este ensayo determina la absorción y la densidad relativa de los agregados finos, por lo que se presentan los cálculos de los ensayos realizados para la presente investigación.

Tabla 24: Gravedad Especifica y Absorción de Agregado Fino de la Arena Triturada.

Determinación de Gravedad Especifica SSS y Absorción del Agregado Fino (ASTM C-128)				
Fecha	17-ene-25	fecha de ensayo	18-ene-25	
Hora muestreo	09:00	agregado	Arena Triturada	
N° muestra	GESP ATRR 1	Laborante	Mario Villalobos	
Cálculo de Gravedad Especifica SSS				
Masa SSS (g) "S"	Masa del Picnómetro con agua, hasta marca de calibración (gr) "B"	Masa del Picnómetro con espécimen y agua, hasta marca de calibración (gr) "C"	Temperatura del agua (° C)	Gravedad Especifica SSS (S/B+S-C)
500.5	670.4	975.3	23.1	2.56
Cálculo de Porcentaje de Absorción				
Masa SSS (g) "B"	Masa Seca (g) "A"	% Absorción ((B-A)/(A)100)		
501.5	486.4	3.10		

Tabla 25: Gravedad Especifica y Absorción del Agregado Fino de la Arena Reciclada.

Determinación de Gravedad Especifica SSS y Absorción del Agregado Fino (ASTM C-128)				
Fecha	17-ene-25	fecha de ensayo	18-ene-25	
Hora muestreo	11:00	agregado	Arena Triturada Reciclada	
N° muestra	GESP AGGNEO 1	Laborante	Mario Villalobos	
Cálculo de Gravedad Especifica SSS				

Masa SSS (g) "S"	Masa del Picnómetro con agua, hasta marca de calibración (gr) "B"	Masa del Picnómetro con espécimen y agua, hasta marca de calibración (gr) "C"	Temperatura del agua (° C)	Gravedad Especifica SSS (S/B+S-C)
501.9	670.4	951.7	23.1	2.28
Cálculo de Porcentaje de Absorción				
Masa SSS (g) "B"	Masa Seca (g) "A"	% Absorción ((B-A)/(A)100)		
501.2	453.6	10.5		

Para el caso del agregado fino triturado, tiene una alta porosidad y capacidad de absorción de agua, lo que significa que podría necesitar un tratamiento para reducir su absorción al agua y mejorar su rendimiento en la mezcla. A diferencia de los valores de la arena triturada, presenta una buena densidad y baja porosidad, lo que significa que no tendrá mayor variación de peso o volumen por la humedad.

4.5 METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA DETERMINAR DENSIDAD APARENTE (PESO UNITARIO), E INDICE DE VACIOS EN LOS AGREGADOS ASTM C-29.

Este ensayo tiene la función de establecer una relación volumétrica en el diseño, así como también como un apoyo para la reproducción volumétrica en el campo por lo que se presentan los cálculos de los ensayos realizados en la investigación.

Tabla 26: Peso Volumétrico Suelto del Cemento C-150.

ASTM C-29	
Cemento ASTM C-150 tipo I	
Pesos	PVS + tara
Peso 1	11.09
Peso 2	11.15
Peso 3	11.22
promedio	11.15
PVS	1076

Tara	3.57	kg
Volumen	0.00705	m ³

G.E.	3.10
Absorción	0.00

Kg/m³

Tabla 27: Peso Volumétrico Suelto y Varillado de la Arena Triturada.

Arena Triturada		
Pesos	PVS + tara	PVV + tara
Peso 1	6.23	6.60
Peso 2	6.23	6.61
Peso 3	6.22	6.64
promedio	6.23	6.62
PVS	1607	
PVV	1744	

Tara	1.68	kg
Volumen	0.00283	m ³

G.E.	2.56
Absorción	3.10

Kg/m³

Kg/m³

Tabla 28: Peso Volumétrico Suelto y Varillado de la Arena Reciclada.

Arena Reciclada		
Pesos	PVS + tara	PVV + tara
Peso 1	5.36	5.76
Peso 2	5.38	5.62
Peso 3	5.35	5.66
promedio	5.36	5.68
PVS	1302	
PVV	1413	

Tara	1.68	kg
Volumen	0.00283	m ³

G.E.	2.28
Absorción	10.50

Kg/m³

Kg/m³

De acuerdo con los datos obtenidos, se tiene un peso sustancialmente bajo de la arena reciclada con respecto a la arena triturada de origen, cuyo valor de diferencia es de 305 kg/m³, esto es debido a lo mencionado con anterioridad, al mortero presente adherido y su grado de mayor porosidad, por consiguiente, los resultados finales del peso volumétrico de los diferentes Diseños están por debajo del promedio si se comparara con arena manufacturada individual o en combinación.

4.6 CONSISTENCIA DE FLUJO EN MATERIAL DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (MRBC) ASTM D-6103.

La consistencia de flujo del material o extensión inicial es determinada por la ASTM D-6103, y se aplica para Materiales de Baja Resistencia Controlada MRBC fluidas, para mezclas no fluidas o que no salen con facilidad fuera del cilindro de flujo, y en todo caso mida la evaluación conforme a la ASTM C-143.

Extensión final, este valor generalmente es establecido y puede variar dependiendo de cómo el MRBC está siendo usado, para rellenar espacios con facilidad, el diámetro promedio típicamente utilizado es de 8" a 12".

Tabla 29: Consistencia de Flujo en puntos con diseños de 50kg y 75kg.

Data Relleno Fluido Ecológico Sustentable - ASTM D-6103 Extensión							
		Diseños con 50 kg			Diseños con 75 kg		
		P1	P2	P3	P1	P2	P3
Inicial	Revenimiento pulg.	9 1/2"	9 1/2"	9 3/4"	9 1/4"	9 1/4"	9 3/4"
	Peso Volumétrico kg/m ³	1973 Kg/m ³ , Rendimiento 1002 lt			1988 Kg/m ³ , Rendimiento 1005 lt		
	Extensión pulg.	8"	7 3/4"	7 1/2"	8 1/4"	8"	8"
ACI 305, capítulo 2, Sección 2.9.4 Proporcionamiento		20 min. ACI 305, 2.9.4 Procedimiento B			20 min. ACI 305, 2.9.4 Procedimiento B		
Final	Revenimiento pulg.	7 1/2"	7 1/4"	7"	7 1/2"	7"	8"
	Extensión pulg.	5 1/2"	5"	4 1/2"	6"	6"	6"
	Temperatura °C	26.5 °C	26.8 °C	26.5 °C	28.0 °C	29.0 °C	29.2 °C

Tabla 30: Consistencia de Flujo en puntos con diseños de 100kg y 125kg.

			Diseños con 100 kg			Diseños con 125 Kg		
			P1	P2	P3	P1	P2	P3
Inicial	Revenimiento	pulg.	9 1/2"	9 3/4"	9 3/4"	9 3/4"	10"	9 1/2"
	Peso Volumétrico	kg/m ³	1998 Kg/m ³ , Rendimiento 1002 lt			1997 Kg/m ³ , Rendimiento 1009 lt		
	Extensión	pulg.	8 1/4"	8"	8 3/4"	8 3/4"	7 3/4"	8 1/2"
ACI 305, capitulo 2, Sección 2.9.4 Proporcionamiento			20 min. ACI 305, 2.9.4 Procedimiento B			20 min. ACI 305, 2.9.4 Procedimiento B		
Final	Revenimiento	pulg.	7 3/4"	7 1/4"	7 1/2"	7"	7 1/2"	7"
	Extensión	pulg.	5 1/4"	5 3/4"	5 3/4"	6"	6 1/4"	5 1/2"
	Temperatura	°C	29.5 °C	29.5 °C	29.8 °C	30.0°C	29.5°C	30.0°C

Tabla 31: Consistencia de Flujo en puntos con diseños de 150kg y 175kg.

			Diseños con 150 kg			Diseños con 175 kg		
			P1	P2	P3	P1	P2	P3
Inicial	Revenimiento	pulg.	9"	9 1/4"	9 1/2"	9 1/2"	9 1/2"	10"
	Peso Volumétrico	kg/m ³	2001 Kg/m ³ , Rendimiento 1005 lt			2016 Kg/m ³ , Rendimiento 997 lt		
	Extensión	pulg.	8"	8"	8 1/4"	9"	9"	9 1/4"
ACI 305, capitulo 2, Sección 2.9.4 Proporcionamiento			20 min. ACI 305, 2.9.4 Procedimiento B			20 min. ACI 305, 2.9.4 Procedimiento B		
Final	Revenimiento	pulg.	7 1/4"	7 1/2"	9 1/2"	9"	8 1/2"	8"
	Extensión	pulg.	6 3/4"	7 1/4"	8 1/4"	8 3/4"	8"	8"
	Temperatura	°C	29.8°C	29.4°	29.5°C	24°C	24.5 °C	25.5°C

Por lo cuantificado anteriormente y la estructura de la mezcla, se puede determinar una pérdida de extensión promedio de 1 ½" en cuantías de cemento mayor (125kg a 175 kg) y una perdida más severa 2 ¾" en cuantías de cemento menores (50 kg a 100 kg).

También se puede observar que en las cuantías de menor valor la mezcla presento dificultades en fluir, así como también no se desplazó con facilidad, caso contrario sucedió con las pruebas de mayor cuantía. Esto se puede apreciar en la siguiente tabla resumen:

Tabla 32: Resumen de Consistencia de Flujo.

Diseños	50 kg	75 kg	100 kg	125 kg	150 kg	175 kg
Extension Inicial (pulg)	7 ¾"	8"	8 ½"	8 ¼"	8"	9"
Extension final (pulg)	5"	6"	5 ½"	6"	7 ½"	8 ¼"
Diferencia	2 ¾"	2"	3"	2 ¼"	1 ½"	1 ¼"

4.7 METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA TEMPERATURA DEL CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND RECIENTE MEZCLADO ASTM C-1064.

La Temperatura, este parámetro se monitorea como una forma de verificar si los materiales se han llevado a temperatura ambiente de prueba dentro de lo estipulado en la ASTM C-192, la cual indica que los materiales se deben de llevar a temperatura de ensayo de entre 20 a 30°C.

En los registros se presentan las temperaturas de prueba entre los valores correspondientes de 24°C a 30°C, por lo tanto, se puede afirmar que se cumple con lo recomendado para las pruebas de mezclas de laboratorio.

Tabla 33: Temperaturas en puntos con diseños de 50kg y 75kg

Data Relleno Fluido Ecológico Sustentable - ASTM C-1064 Temperatura							
		Diseños con 50 kg			Diseños con 75 kg		
		P1	P2	P3	P1	P2	P3
Inicial	Revenimiento pulg.	9 1/2"	9 1/2"	9 3/4"	9 1/4"	9 1/4"	9 3/4"
	Peso Volumétrico kg/m ³	1973 Kg/m ³ , Rendimiento 1002 lt			1988 Kg/m ³ , Rendimiento 1005 lt		
	Extensión pulg.	8"	7 3/4"	7 1/2"	8 1/4"	8"	8"
ACI 305, capítulo 2, Sección 2.9.4 Proporcionamiento		20 min. ACI 305, 2.9.4 Procedimiento B			20 min. ACI 305, 2.9.4 Procedimiento B		

Final	Revenimiento	pulg.	7 1/2"	7 1/4"	7"	7 1/2"	7"	8"
	Extensión	pulg.	5 1/2"	5"	4 1/2"	6"	6"	6"
	Temperatura	°C	26.5 °C	26.8 °C	26.5 °C	28.0 °C	29.0 °C	29.2 °C

Tabla 34: Temperaturas en puntos con diseños de 100kg y 125kg.

			Diseños con 100 kg			Diseños con 125 Kg		
			P1	P2	P3	P1	P2	P3
Inicial	Revenimiento	pulg.	9 1/2"	9 3/4"	9 3/4"	9 3/4"	10"	9 1/2"
	Peso Volumétrico	kg/m ³	1998 Kg/m ³ , Rendimiento 1002 lt			1997 Kg/m ³ , Rendimiento 1009 lt		
	Extensión	pulg.	8 1/4"	8"	8 3/4"	8 3/4"	7 3/4"	8 1/2"
ACI 305, capítulo 2, Sección 2.9.4 Proporcionamiento			20 min. ACI 305, 2.9.4 Procedimiento B			20 min. ACI 305, 2.9.4 Procedimiento B		
Final	Revenimiento	pulg.	7 3/4"	7 1/4"	7 1/2"	7"	7 1/2"	7"
	Extensión	pulg.	5 1/4"	5 3/4"	5 3/4"	6"	6 1/4"	5 1/2"
	Temperatura	°C	29.5 °C	29.5 °C	29.8 °C	30.0°C	29.5°C	30.0°C

Tabla 35: Temperaturas en puntos con diseños de 150kg y 175kg.

			Diseños con 150 kg			Diseños con 175 kg		
			P1	P2	P3	P1	P2	P3
Inicial	Revenimiento	pulg.	9"	9 1/4"	9 1/2"	9 1/2"	9 1/2"	10"
	Peso Volumétrico	kg/m ³	2001 Kg/m ³ , Rendimiento 1005 lt			2016 Kg/m ³ , Rendimiento 997 lt		
	Extensión	pulg.	8"	8"	8 1/4"	9"	9"	9 1/4"
ACI 305, capítulo 2, Sección 2.9.4 Proporcionamiento			20 min. ACI 305, 2.9.4 Procedimiento B			20 min. ACI 305, 2.9.4 Procedimiento B		
Final	Revenimiento	pulg.	7 1/4"	7 1/2"	9 1/2"	9"	8 1/2"	8"
	Extensión	pulg.	6 3/4"	7 1/4"	8 1/4"	8 3/4"	8"	8"
	Temperatura	°C	29.8°C	29.4°	29.5°C	24°C	24.5 °C	25.5°C

Tabla 36: Tabla resumen de Temperatura por punto propuesto.

Diseños	50 kg	75 kg	100 kg	125 kg	150 kg	175 kg
Temperatura (°C)	26.60	28.70	29.60	29.80	29.60	24.70

4.8 MÉTODO ESTÁNDAR PARA TIEMPO DE FRAGUADO POR RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MEZCLAS. DE CONCRETO (MEDIANTE UN PENETRO-METRO DE BOLSILLO, AGUJA DE 1/20" DE DIÁMETRO DE PENETRACIÓN) ASTM C-403.

El ensayo ASTM C- 403 (Método de prueba estándar para el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por resistencia a la penetración) nos indica el tiempo transcurrido desde el contacto del agua y el cemento o constituyentes en condición húmeda, hasta alcanzar la rigidez a través de la resistencia a la penetración de los diferentes diseños con los cuales se construyó la curva de resistencia del Relleno Fluido Ecológico Sustentable RFES El ACI 229R describe que los tiempos de endurecimiento de estos materiales puede ser tan corto como 1 hora, pero generalmente se encuentran en un rango de entre 3 a 5 horas sin aditivos o materiales cementantes que modifiquen sus propiedades, además es de hacer notar que la extensibilidad o el acortamiento del endurecimiento, puede cambiar in situ debido a las condiciones de la temperatura del Relleno Fluido Ecológico Sustentable, la agresividad del medioambiente, las características del confinamiento, así como también el volumen del elemento.

De acuerdo con el resumen de datos del ensayo de Tiempo de Fraguado Inicial de los diferentes Diseños de Mezclas realizados, los valores presentados en las gráficas son congruente con lo descrito en la literatura técnica de referencia.

Gráfico 5: Resumen del tiempo de fraguado por punto realizado.

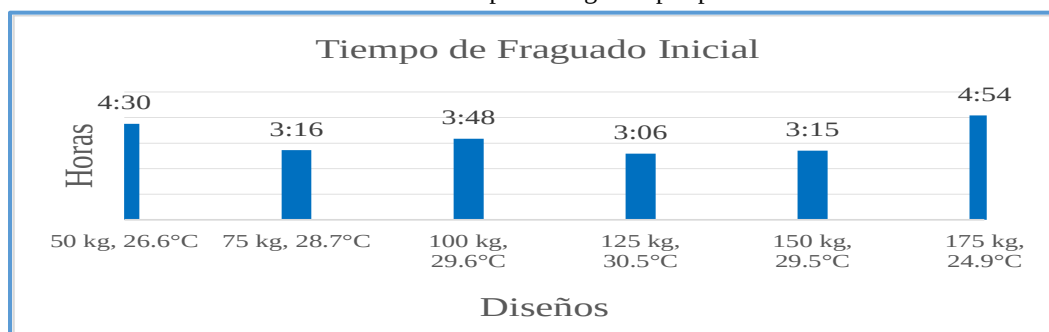


Tabla 37: Tiempo de Fraguado del Diseño con 50kg de Cemento.

Relleno Fluido Ecológico Sustentable (RFES)

Tiempo de Fraguado Inicial

Fecha	
Planta	KSA1
Hora Cargue	
Mixer	
Recibo No.	
Asentamiento	

Diseño	
Código	
Cant. Cemento	50 kg
Tipo Cemento	ASTM C-150 tipo I
Cant. Aditivo	
Tipo Aditivo	

26.6

°C Prom. RFES

						Laboratorio
Hora	min	^t	Temp. °C	Viento kl/h	%H	Lectura PSI
08:30	0	0	33.2	0.0	59.2	0
10:00	90	90	34.3	0.0	60.6	0
10:30	30	120	34.2	0.0	58.0	0
11:00	30	150	34.0	0.0	52.6	200
11:50	50	200	34.4	0.0	48.5	300
12:15	25	225	33.2	0.0	47.5	380
01:30	45	270	33.0	0.0	51.2	500

TFI Inicial: **04:30** **Hora/min**

Gráfico 6: Tiempo de Fraguado 50kg.



Tabla 38: Tiempo de Fraguado del Diseño con 75kg de Cemento.

Relleno Fluido Ecológico Sustentable (RFES)

Tiempo de Fraguado Inicial

Fecha	
Planta	KSA1
Hora Cargue	
Mixer	
Recibo No.	
Asentamiento	

Diseño	
Código	
Cant. Cemento	75 kg
Tipo Cemento	ASTM C-150 tipo I
Cant. Aditivo	
Tipo Aditivo	

Prom.
28.7 °C RFES

						Laboratorio
Hora	min	^t	Temp. °C	Viento kl/h	%H	Lectura PSI
09:06	0	0	32.0	0.0	56.8	0
10:05	59	59	31.7	0.0	54.7	0
11:00	55	114	34.0	0.0	45.4	100
11:30	30	144	33.3	0.0	56.6	180
11:45	15	159	32.9	0.0	56.3	200
12:15	30	189	33.5	0.0	48.8	400
12:30	15	204	35.3	0.0	52.8	600

TFI Inicial: **03:16** Hora/min

Gráfico 7: Tiempo de Fraguado 75kg.

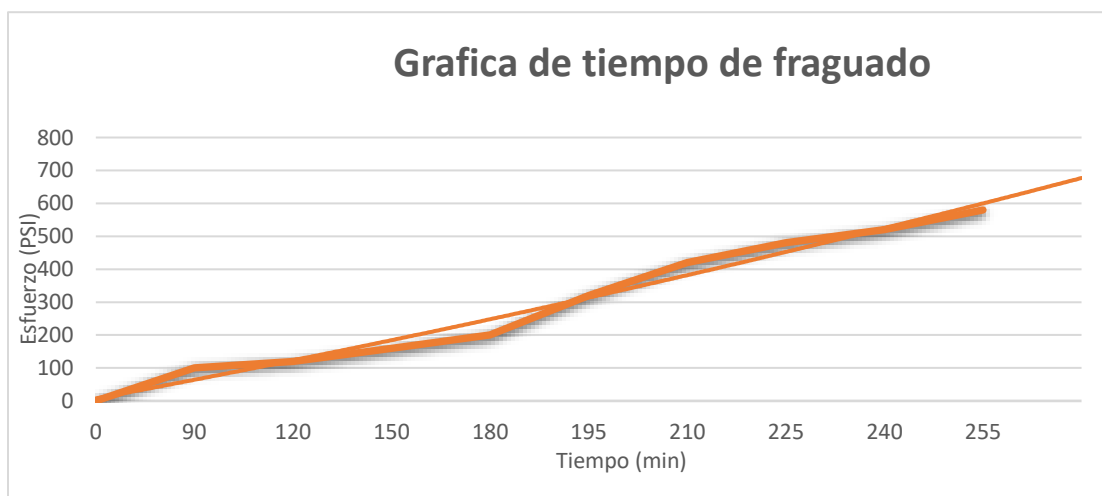


Tabla 39: Tiempo de Fraguado del Diseño con 100kg de Cemento.

Relleno Fluido Ecológico Sustentable (RFES)

Tiempo de Fraguado Inicial

Fecha	
Planta	KSA1
Hora Cargue	
Mixer	
Recibo No.	
Asentamiento	

Diseño	
Codigo	
Cant. Cemento	100 kg
Tipo Cemento	ASTM C-150 tipo I
Cant. Aditivo	
Tipo Aditivo	

Prom.
29.6°C RFES

						Laboratorio
Hora	min	Δt	Temp. °C	Viento kl/h	%H	Lectura PSI
09:30	0	0	31.5	0.0	78.7	0
11:00	90	90	36.1	0.0	43.0	100
11:30	30	120	35.4	0.0	48.2	120
12:00	30	150	37.4	0.0	40.9	160
12:30	30	180	36.9	0.0	42.5	200
12:45	15	195	38.4	0.0	40.6	320
01:00	15	210	37.4	0.0	42.2	420
01:15	15	225	37.4	0.0	40.5	480
01:30	15	240	37.5	0.0	41.4	520
01:45	15	255	38.2	0.0	42.1	580

TFI Inicial: **03:48** Hora/min

Gráfico 8: Tiempo de Fraguado 100kg.

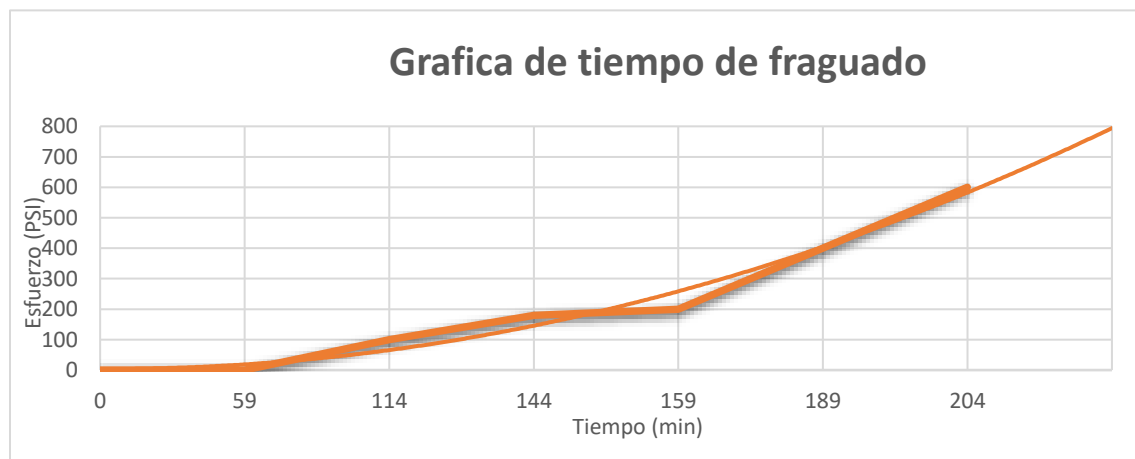


Tabla 40: Tiempo de Fraguado del Diseño con 125kg de Cemento.

Relleno Fluido Ecológico Sustentable (RFES)

Tiempo de Fraguado Inicial

Fecha	
Planta	KSA1
Hora Cargue	
Mixer	
Recibo No.	
Asentamiento	

Diseño	
Código	
Cant. Cemento	125 kg
Tipo Cemento	ASTM C-150 tipo I
Cant. Aditivo	
Tipo Aditivo	

Prom.
30:5 °C RFES

						Laboratorio
Hora	min	^t	Temp. °C	Viento kl/h	%H	Lectura PSI
12:24	0	0	37.1	0.8	52.1	0
01:00	36	36	36.6	2.0	54.0	160
02:00	60	96	37.5	2.1	36.2	220
02:30	30	126	36.4	1.8	44.8	300
02:45	15	141	37.6	0.0	34.0	340
03:00	15	156	37.8	0.0	31.0	350
03:30	30	186	36.0	0.0	41.0	520

TFI Inicial: **03:06** Hora/min

Gráfico 9: Tiempo de Fraguado 125kg.

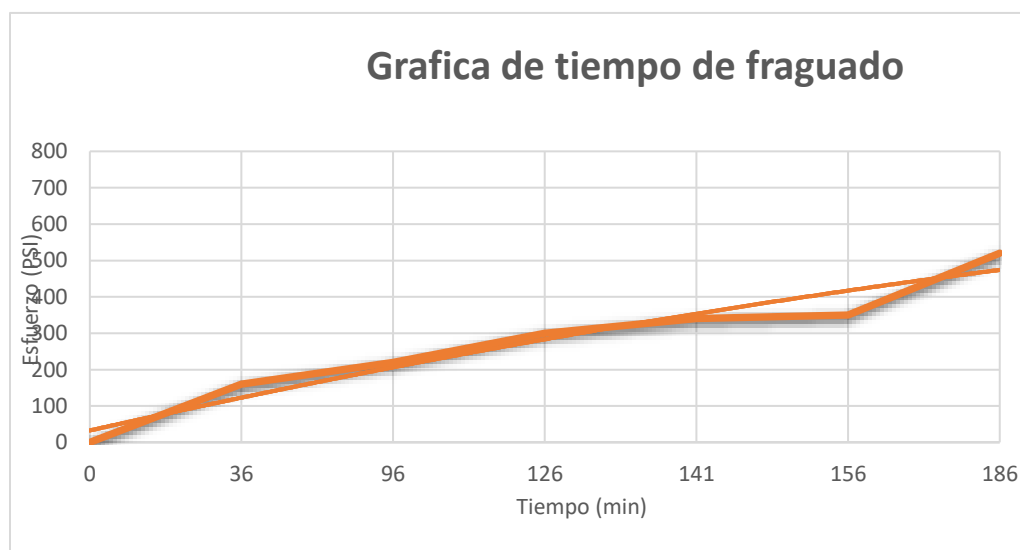


Tabla 41: Tiempo de Fraguado del Diseño con 150kg de Cemento.

Relleno Fluido Ecológico Sustentable (RFES)

Tiempo de Fraguado Inicial

Fecha	
Planta	KSA1
Hora Cargue	
Mixer	
Recibo No.	
Asentamiento	

Diseño	
Código	
Cant. Cemento	150 kg
Tipo Cemento	ASTM C-150 tipo I
Cant. Aditivo	
Tipo Aditivo	

29.5 Prom.
°C RFES

						Laboratorio
Hora	min	Δt	Temp. °C	Viento kl/h	%H	Lectura PSI
02:10	0	0	38.0	1.4	52.1	0
03:00	50	50	37.5	1.2	50.5	0
03:30	30	80	36.9	2.2	54.3	110
03:45	15	95	36.2	0.6	55.2	140
04:00	15	110	34.8	0.2	58.1	280
04:20	20	130	34.1	0.0	58.4	340
04:45	25	155	34.6	0.8	59.9	380
05:15	30	185	34.8	0.4	61.2	460
05:45	30	215	35.0	1.1	68.3	580

TFI Inicial: **03:15** Hora/min

Gráfico 10: Tiempo de Fraguado del Diseño con 150kg de Cemento.

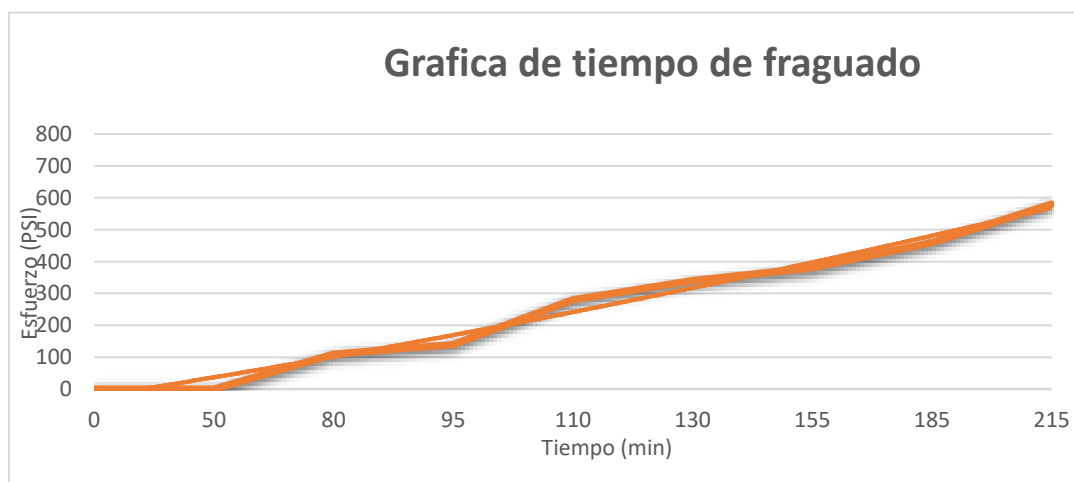


Tabla 42: Tiempo de Fraguado el Diseño con 175kg de Cemento.

Relleno Fluido Ecológico Sustentable (RFES)

Tiempo de Fraguado Inicial

Fecha	
Planta	KSA1
Hora Cargue	
Mixer	
Recibo No.	
Asentamiento	

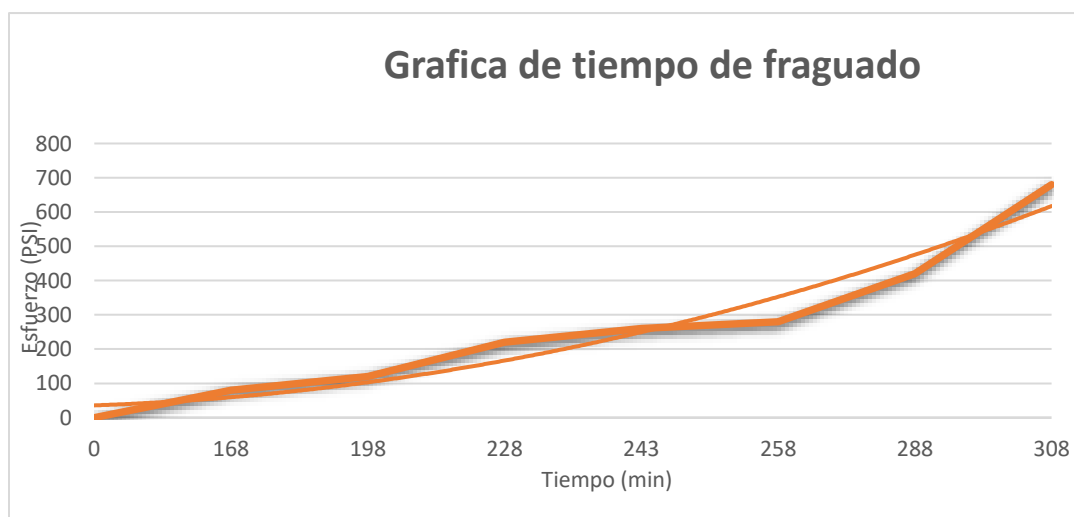
Diseño	
Código	
Cant. Cemento	175 kg
Tipo Cemento	ASTM C-150 tipo I
Cant. Aditivo	
Tipo Aditivo	

Prom.
24.9 °C RFES

						Laboratorio
Hora	min	Δt	Temp. °C	Viento kl/h	%H	Lectura PSI
07:12	0	0	28.0	0.0	80.1	0
10:00	168	168	30.2	0.0	65.8	80
10:30	30	198	32.7	0.0	51.9	120
11:00	30	228	33.0	0.0	54.1	220
11:15	15	243	34.5	0.0	51.5	260
11:30	15	258	34.1	0.0	52.8	280
12:00	30	288	35.5	0.0	51.2	420
12:20	20	308	36.7	0.0	46.5	680

TFI Inicial: **04:54** Hora/min

Gráfico 11: Tiempo de Fraguado 175kg.



4.9 MÉTODO ESTÁNDAR DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE CILINDROS DE CONCRETO ASTM C-39.

Tabla 43: Compresión de Cilindros RFES a 7 días.

Resultados Ensayos a Compresión Cilindros RFES 7 días.								
Pruebas	Edad (días)	Área (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kg)	f'c, 50 kg de Cemento	Peso (Kg)	Carga (Kg)	f'c, 75 kg de Cemento
P1	7 d	182.4	10.3	459.0	2.5	10.5	981.0	5.4
		182.4	10.9	521.0	2.9	10.7	949.0	5.2
P2		182.4	10.7	590.0	3.2	10.9	903.0	5.0
		182.4	10.6	523.0	2.9	10.8	974.0	5.3
P3		182.4	10.5	580.0	3.2	11.0	917.0	5.0
		182.4	10.5	569.0	3.1	11.0	888.0	4.9
Promedio					3			5
Pruebas	Edad (días)	Área (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kg)	f'c, 100 kg de Cemento	Peso (Kg)	Carga (Kg)	f'c, 125 kg de Cemento
P1	7 d	182.4	11.0	1232.0	6.8	10.6	2408.0	13.2
		182.4	10.7	1207.0	6.6	10.6	2545.0	14.0
P2		182.4	10.7	1272.0	7.0	10.8	2767.0	15.2
		182.4	10.8	1270.0	7.0	10.7	2604.0	14.3
P3		182.4	10.7	1209.0	6.6	10.9	2483.0	13.6
		182.4	11.1	1216.0	6.7	10.7	2330.0	12.8
Promedio					7			14

Pruebas	Edad (días)	Área (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kg)	f'c, 150 kg de Cemento	Peso (Kg)	Carga (Kg)	f'c, 175 kg de Cemento
P1	7 d	182.4	11.0	3502.0	19.2	10.8	3970.0	21.8
		182.4	10.8	3553.0	19.5	10.8	3890.0	21.3
P2		182.4	10.7	3308.0	18.1	10.9	3665.0	20.1
		182.4	10.7	3473.0	19.0	11.0	3752.0	20.6
P3		182.4	10.6	3402.0	18.7	10.8	3654.0	20.0
		182.4	10.8	3451.0	18.9	10.9	3615.0	19.8
Promedio					19		21	

Respecto a los resultados obtenidos de los diferentes diseños, se ilustran las tendencias a los 7 días de elaboración de los diseños propuestos, los cuales ayudan a predecir la mejor aproximación de los resultados que se obtendrán a 28 días

Tabla 44:Compresión de Cilindros RFES a 28 días.

Resultados Ensayos a Compresión Cilindros RFES 28 días.								
Pruebas	Edad (días)	Área (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kg)	f'c, 50 kg de Cemento	Peso (Kg)	Carga (Kg)	f'c, 75 kg de Cemento
P1	28 d	182.4	10.0	895.0	4.9	10.8	1757.0	9.6
		182.4	10.1	850.0	4.7	10.4	1626.0	8.9
P2		182.4	10.1	795.0	4.4	10.7	1606.0	8.8
		182.4	10.1	799.0	4.4	10.7	1618.0	8.9
P3		182.4	9.8	744.0	4.1	10.8	1561.0	8.6
		182.4	9.9	772.0	4.2	10.3	1466.0	8.0
Promedio					4		9	

Pruebas	Edad (días)	Área (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kg)	f'c, 100 kg de Cemento	Peso (Kg)	Carga (Kg)	f'c, 125 kg de Cemento
P1	28 d	182.4	10.5	1953.0	10.7	10.5	4278.0	23.5
		182.4	10.5	2049.0	11.2	10.1	4519.0	24.8
P2		182.4	10.6	2142.0	11.7	10.8	4878.0	26.7
		182.4	10.6	1949.0	10.7	10.6	4203.0	23.0
P3		182.4	10.3	1868.0	10.2	10.1	4466.0	24.5
		182.4	10.4	1874.0	10.3	10.1	4089.0	22.4
Promedio					11			24

Pruebas	Edad (días)	Área (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kg)	f'c, 150 kg de Cemento	Peso (Kg)	Carga (Kg)	f'c, 175 kg de Cemento
P1	28 d	182.4	10.7	5675.0	31.1	10.5	6895.0	37.8
		182.4	11.0	5931.0	32.5	10.7	6971.0	38.2
P2		182.4	10.8	5396.0	29.6	10.7	6414.0	35.2
		182.4	10.7	5691.0	31.2	10.8	6466.0	35.4
P3		182.4	10.6	5863.0	32.1	10.5	6460.0	35.4
		182.4	10.8	5003.0	27.4	10.8	6490.0	35.6
Promedio					31			36

Para el caso de los resultados a 28 días se ha logrado llegar a los promedios asumidos de resistencia propuestos dentro de la investigación. Por lo anterior expuesto se confirma que los materiales utilizados en los porcentajes propuestos cumplen con la construcción de la Curva de Resistencia.

Tabla 45: Resumen de Valores de Compresión a Cilindros RFES.

Material / Puntos		50 kg	75 kg	100 kg	125kg	150kg	175Kg
Proporcionamiento	Cemento C-150 tipo I	50	75	100	125	150	175
	Agua (litr)	295	290	290	285	290	295
	Arena Trituración (kg)	1147	1142	1128	1123	1100	1078
	Arena Reciclada (kg)	492	489	483	481	472	462
	A/C	5.90	3.87	2.90	2.28	1.93	1.69
	Aire Inicial	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%
Edades	# Puntos	P1	P2	P3	P4	P5	P6
3d Alerta Temprana	Promedio	0	0	0	0	0	0
7 d Tendencia	Promedio	3	5	7	14	19	21
28 d Confirmación	Promedio	4	9	11	24	31	36
	Eficiencia cemento %	9	12	11	19	20	21

%	3d	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	7d	67%	58%	63%	57%	62%	57%
	28d	100%	100%	100%	100%	100%	100%

En la tabla anterior se muestran los valores de los porcentajes de tendencia, los cuales son muy importantes y ayudan a predecir con la mejor aproximación de la proyección de los resultados a 28 día.

Nota: Considerando que los Materiales de Resistencia Baja Controlada (MRBC), son materiales diseñados para ganar resistencia muy lentamente, y están formulados con bajo contenido de cemento y relaciones agua/cemento muy altas, esto significa que su hidratación inicial es muy lenta, y la resistencia a 3 días no representa en absoluto su comportamiento final, ni permite compara su calidad real.

Gráfico 12: Curva de Resistencia RFES.

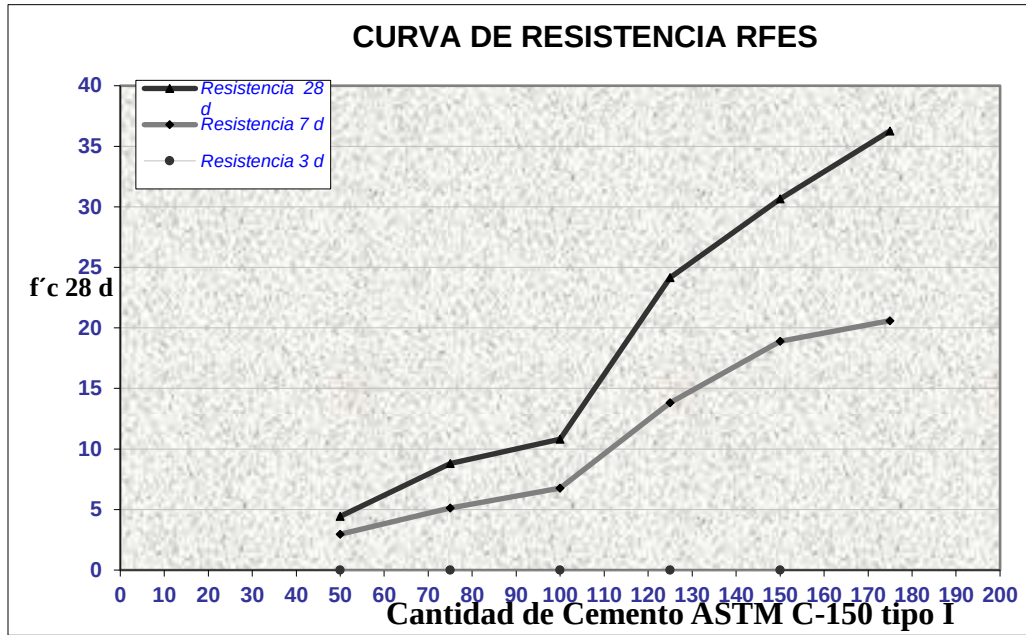
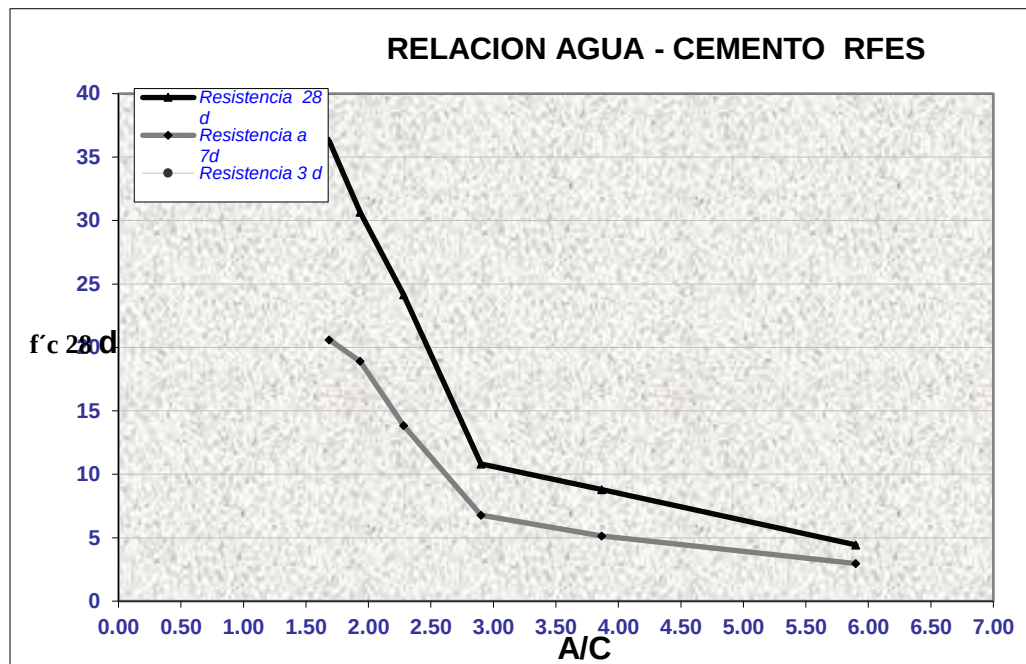


Gráfico 13: Curva de Relación Agua-Cemento del RFES.



4.10 PROPORCIONAMIENTO, SEGUIMIENTO PARA EL TRANSPORTE, ENTREGA Y EVALUACION DEL RFES.

Tabla 46: Proporcionamiento del Diseño con 50 kg de Cemento.

Proporcionamiento de MRBC (RFES)

f 'c	5	kg/cm²			
Tipo	Relleno Fluido Ecológico Sustentable				
Revenimiento nominal	9 1/2"	±	1 1/2"	"	
Estimación Inicial de Agua de Mezcla				300	Litros
Agua de Mezcla de Diseño				295	Litros / m³
Material	Identificación		Densidad S.S.S	Peso Vol. Seco Suelto	
Cemento	Holcim ASTM C-150 tipo I		3.10	1076	
Material 1	Árido Fino Manufacturado		2.56	1744	
Material 2	Árido Reciclado Fino		2.28	1413	
Dosificación de Aditivos			Densidad ml/Kg		
Aditivo 1	Aire		0.00	0.00	
Aditivo 2	Acelerante		0.00	0.00	
Aditivo 3	Reductor		0.00	0.00	
Material	Consumo		0		
	Kg/m³	Volúmenes l/m³	V. Absolutos	V. Seco Suelto	
Holcim ASTM C-150 tipo I	50	16	1.00	1.00	
Agua	295	295	18.29	18.29	
Vacíos	0.03	25			
Árido Fino Manufacturado	1147	448	27.79	14.15	
Árido Reciclado Fino	492	216	13.37	7.48	
Aire	0	0	% en Peso		
Acelerante	0	0	Cemento	2.52%	
Reductor	0	0	Agua	14.87%	
Suma	1984	1000	Agregado 1	57.83%	
Pasta % Vol.	31.11%		Agregado 2	24.78%	
A/C Final =	5.90		Suma	100.00%	

Tabla 47: Proporcionamiento del Diseño con 75 kg de Cemento.

Proporcionamiento de MRBC (RFES)

f 'c	10	kg/cm²		
Tipo	Relleno Fluido Ecológico Sustentable			
Revenimiento nominal	9 1/2"	±	1 1/2"	
Estimación Inicial de Agua de Mezcla			300	
Agua de Mezcla de Diseño			290	
			Litros	
			Litros / m³	
Material	Identificación	Densidad S.S.S	Peso Vol. Seco Suelto	
Cemento	Holcim ASTM C-150 tipo I	3.10	1076	
Material 1	Árido Fino Manufacturado	2.56	1744	
Material 2	Árido Reciclado Fino	2.28	1413	
Dosificación de Aditivos		Densidad	ml/Kg	
Aditivo 1	Aire	0.00	0.00	
Aditivo 2	Acelerante	0.00	0.00	
Aditivo 3	Reductor	0.00	0.00	
Material	Consumo		0	
	Kg/m³	Volúmenes l/m³	V. Absolutos V. Seco Suelto	
Holcim ASTM C-150 tipo I	75	24	1.00 1.00	
Agua	290	290	11.99 11.99	
Vacíos	0.03	25		
Árido Fino Manufacturado	1142	446	18.44 9.39	
Árido Reciclado Fino	489	215	8.87 4.97	
Aire	0	0	% en Peso	
Acelerante	0	0	Cemento	3.76%
Reductor	0	0	Agua	14.53%
Suma	1997	1000	Agregado 1	57.20%
Pasta % Vol.	31.42%		Agregado 2	24.52%
A/C Final =	3.87		Suma	100.00%

Tabla 48: Proporcionamiento del Diseño con 100 kg de Cemento.

Proporcionamiento de MRBC (RFES)

f 'c	15	kg/cm²		
Tipo	Relleno Fluido Ecológico Sustentable			
Revenimiento nominal	9 1/2"	±	1 1/2"	"
Estimación Inicial de Agua de Mezcla			300	Litros
Agua de Mezcla de Diseño			290	Litros / m³
Material	Identificación		Densidad S.S.S	Peso Vol. Seco Suelto
Cemento	Holcim ASTM C-150 tipo I		3.10	1076
Material 1	Árido Fino Manufacturado		2.56	1744
Material 2	Árido Reciclado Fino		2.28	1413
Dosificación de Aditivos			Densidad ml/Kg	
Aditivo 1	Aire		0.00	0.00
Aditivo 2	Acelerante		0.00	0.00
Aditivo 3	Reductor		0.00	0.00
Material	Consumo		0	
	Kg/m³	Volúmenes l/m³	V. Absolutos	V. Seco Suelto
Holcim ASTM C-150 tipo I	100	32	1.00	1.00
Agua	290	290	8.99	8.99
Vacíos	0.03	25		
Árido Fino Manufacturado	1128	441	13.66	6.96
Árido Reciclado Fino	483	212	6.57	3.68
Aire	0	0	% en Peso	
Acelerante	0	0	Cemento	5.00%
Reductor	0	0	Agua	14.49%
Suma	2002	1000	Agregado 1	56.36%
Pasta % Vol.	32.23%		Agregado 2	24.15%
A/C Final =	2.90		Suma	100.00%

Tabla 49: Proporcionamiento del Diseño con 125 kg de Cemento.

Proporcionamiento de MRBC (RFES)

f 'c Tipo Revenimiento nominal Estimación Inicial de Agua de Mezcla Agua de Mezcla de Diseño	20	kg/cm²		"
	Relleno Fluido Ecológico Sustentable			
	9 1/2"	±	1 1/2"	
			300	
			285	Litros / m³
Material	Identificación		Densidad S.S.S	Peso Vol. Seco Suelto
Cemento	Holcim ASTM C-150 tipo I		3.10	1076
Material 1	Árido Fino Manufacturado		2.56	1744
Material 2	Árido Reciclado Fino		2.28	1413
Dosificación de Aditivos			Densidad	ml/Kg
Aditivo 1	Aire		0.00	0.00
Aditivo 2	Acelerante		0.00	0.00
Aditivo 3	Reductor		0.00	0.00
Material	Consumo		0	
	Kg/m³	Volúmenes l/m³	V. Absolutos	V. Seco Suelto
Holcim ASTM C-150 tipo I	125	40	1.00	1.00
Agua	285	285	7.07	7.07
Vacíos	0.03	25		
Árido Fino Manufacturado	1123	439	10.88	5.54
Árido Reciclado Fino	481	211	5.23	2.93
Aire	0	0	% en Peso	
Acelerante	0	0	Cemento	6.21%
Reductor	0	0	Agua	14.15%
Suma	2014	1000	Agregado 1	55.75%
Pasta % Vol.	32.53%		Agregado 2	23.89%
A/C Final =	2.28		Suma	100.00%

Tabla 50: Proporcionamiento del Diseño con 150 kg de Cemento.

Proporcionamiento de MRBC (RFES)

f 'c Tipo Revenimiento nominal Estimación Inicial de Agua de Mezcla Agua de Mezcla de Diseño	25	kg/cm²		
	Relleno Fluido Ecológico Sustentable			
	9 1/2"	±	1 1/2"	"
				300
			290	Litros / m³
Material	Identificación		Densidad S.S.S	Peso Vol. Seco Suelto
Cemento	Holcim ASTM C-150 tipo I		3.10	1076
Material 1	Árido Fino Manufacturado		2.56	1744
Material 2	Árido Reciclado Fino		2.28	1413
Dosificación de Aditivos			Densidad	ml/Kg
Aditivo 1	Aire		0.00	0.00
Aditivo 2	Acelerante		0.00	0.00
Aditivo 3	Reductor		0.00	0.00
Material	Consumo		0	
	Kg/m³	Volúmenes l/m³	V. Absolutos	V. Seco Suelto
Holcim ASTM C-150 tipo I	150	48	1.00	1.00
Agua	290	290	5.99	5.99
Vacíos	0.03	25		
Árido Fino Manufacturado	1100	430	8.88	4.52
Árido Reciclado Fino	472	207	4.27	2.39
Aire	0	0	% en Peso	
Acelerante	0	0	Cemento	7.46%
Reductor	0	0	Agua	14.41%
Suma	2012	1000	Agregado 1	54.69%
Pasta % Vol.	33.84%		Agregado 2	23.44%
A/C Final =	1.93		Suma	100.00%

Tabla 51: Proporcionamiento del Diseño con 175 kg de Cemento.

Proporcionamiento de MRBC (RFES)

f 'c Tipo Revenimiento nominal Estimación Inicial de Agua de Mezcla Agua de Mezcla de Diseño	30	kg/cm²			
	Relleno Fluido Ecológico Sustentable				
	9 1/2"	±	1 1/2"	"	
				300	Litros
				295	Litros / m³
Material	Identificación		Densidad S.S.S	Peso Vol. Seco Suelto	
Cemento	Holcim ASTM C-150 tipo I		3.10	1076	
Material 1	Árido Fino Manufacturado		2.56	1744	
Material 2	Árido Reciclado Fino		2.28	1413	
Dosificación de Aditivos			Densidad	ml/Kg	
Aditivo 1	Aire		0.00	0.00	
Aditivo 2	Acelerante		0.00	0.00	
Aditivo 3	Reductor		0.00	0.00	
Material	Consumo		0		
	Kg/m³	Volúmenes l/m³	V. Absolutos	V. Seco Suelto	
Holcim ASTM C-150 tipo I	175	56	1.00	1.00	
Agua	295	295	5.23	5.23	
Vacíos	0.03	25			
Árido Fino Manufacturado	1078	421	7.46	3.80	
Árido Reciclado Fino	462	203	3.59	2.01	
Aire	0	0	% en Peso		
Acelerante	0	0	Cemento	8.71%	
Reductor	0	0	Agua	14.68%	
Suma	2010	1000	Agregado 1	53.63%	
Pasta % Vol.	35.15%		Agregado 2	22.98%	
A/C Final =	1.69		Suma	100.00%	

Tabla 52: Resumen de Proporciones Propuestas.

Para 175kg de cemento ASTM C-150 Tipo 1			Para 150kg de cemento ASTM C-150 Tipo 1		
Proporción por volumen absoluto, 1:5:7.5:4			Proporción por volumen absoluto, 1:6:9:4		
1.00	volumen	Cemento	1.00	Volumen	Cemento
5.00	volumen	Agua	6.00	Volumen	Agua
7.50	volumen	Arena Triturada	9.00	Volumen	Arena Triturada
4.00	volumen	Arena Reciclada	4.00	Volumen	Arena Reciclada
Proporción por volumen seco suelto, 1:5:4:2			Proporción por volumen seco suelto, 1:6:4.5:3		
1.00	volumen	Cemento	1.00	Volumen	Cemento
5.00	volumen	Agua	6.00	Volumen	Agua
4.00	volumen	Arena Triturada	4.50	Volumen	Arena Triturada
2.00	volumen	Arena Reciclada	3.00	Volumen	Arena Reciclada
Para 125kg de cemento ASTM C-150 Tipo 1			Para 100kg de cemento ASTM C-150 Tipo 1		
Proporción por volumen absoluto, 1:7:11:5			Proporción por volumen absoluto, 1:9:14:6.5		
1.00	volumen	Cemento	1.00	Volumen	Cemento
7.00	volumen	Agua	9.00	Volumen	Agua
11.00	volumen	Arena Triturada	14.00	Volumen	Arena Triturada
5.00	volumen	Arena Reciclada	6.50	Volumen	Arena Reciclada
Proporción por volumen seco suelto, 1:7:5.5:3			Proporción por volumen seco suelto, 1:9:7:3.5		
1.00	volumen	Cemento	1.00	Volumen	Cemento
7.00	volumen	Agua	9.00	Volumen	Agua
5.50	volumen	Arena Triturada	7.00	Volumen	Arena Triturada
3.00	volumen	Arena Reciclada	4.00	Volumen	Arena Reciclada
Para 75kg de cemento ASTM C-150 Tipo 1			Para 50kg de cemento ASTM C-150 Tipo 1		
Proporción por volumen absoluto, 1:12:18:9			Proporción por volumen absoluto, 1:19:28:13.5		
1.00	volumen	Cemento	1.00	Volumen	Cemento

12.00	volumen	Agua	19.00	Volumen	Agua
18.00	volumen	Arena Triturada	28.00	Volumen	Arena Triturada
9.00	volumen	Arena Reciclada	13.50	Volumen	Arena Reciclada
Proporción por volumen seco suelto, 1:12:9.5:5			Proporción por volumen seco suelto, 1:19:14:7.5		
1.00	volumen	Cemento	1.00	Volumen	Cemento
12.00	volumen	Agua	19.00	Volumen	Agua
9.50	volumen	Arena Triturada	14.00	Volumen	Arena Triturada
5.00	volumen	Arena Reciclada	7.50	Volumen	Arena Reciclada

Pasos y consideraciones:

- ✓ Propósito y Uso: determinar el uso específico del Relleno Fluido Ecológico Sustentable, ya sea para rellenos simples, estructurales u otros usos;
- ✓ Resistencia: Establecer la resistencia a compresión requerida;
- ✓ Selección de los materiales adecuados, que pueden incluir agregados económicos y aquellos que no cumplen con las normativas para ser utilizados;
- ✓ Proporcionamiento de Mezcla: Establecer el proporcionamiento de los constituyentes que mejor se adapten a las solicitudes del proyecto.
- ✓ Características: Consistencia, la que mejor se ajuste según los requerimientos de la aplicación; Permeabilidad: ajustarse al uso previsto; Durabilidad: No están diseñados para resistir abrasión, ataques químicos, congelación y deshielo;
- ✓ Entrega y Colocación de forma industrial: El relleno fluido se entrega en camiones mezcladores atendiendo las recomendaciones del caso, vertido directamente, puede ser transportado por bombeo, canaletas, carretillas, no requiere curado, pero se deben de tomar en cuenta las previsiones del caso hasta el endurecimiento.
- ✓ Ensayos de Control de Calidad: Cumplimiento de las especificaciones técnicas, y de no existir las especificaciones técnicas, seguir las buenas prácticas aplicables.

- ✓ Estos pasos aseguran que el Relleno Fluido Ecológico Sustentable cumpla con los requisitos especificados y se coloque de manera eficiente, segura y de calidad.

- ✓ Procedimiento de Carga

Por otro lado, a continuación, se muestra la comparación de costos de estos conglomerados que forman parte de los Materiales de Resistencia Baja Controlada (MRBC) y el Relleno Fluido Ecológico Sustentable (RFES).

Tabla 53: Comparación de costos de lodocreto y RFES.

COSTEO

Material	P.V.V. de cada material		1,744 Kg./m ³	1,413 Kg./m ³	1,360 Kg./m ³		
	Cemento	Agua	Arenas Triturada	Arena Reciclada	Puzolana		
	C - 150 I	C-1602	Tepeagua	Tepeagua	El Congo, Santa Ana		
	\$0.180 / Kg.	\$0.010 / Kg.	\$0.008 / Kg.	\$0.007 / Kg.	\$0.004 / Kg.	Costo Variable	Costo de Producción
	Merma = 1.0%	Merma = 1.0%	Merma = 1.0%	Merma = 1.0%	Merma = 1.0%		
	Kg.	Litros	Kg.	Kg.	Kg.		
RFES 100 kg	100	290	1128	483		\$33.52	\$33.52
Lodocreto 7%	95	295			1331	\$25.66	\$25.66

Nota: Para el Lodocreto (MRBC) se hizo referencia al diseño del 7% en peso seco de la tierra blanca, del cual se obtiene resultados nominales a compresión de entre 11 a 14 Kg/cm², comparado con los diseños del RFES con 100 kg, con consistencia nominal de 9 1/2”,

CAPITULO V:

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Para concluir esta investigación sobre el Relleno Fluido Ecológico Sustentable (RFES), se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio. La información expuesta se obtuvo a partir de la experimentación y el análisis de resultados tanto en estado fresco como endurecido, aplicados a los distintos diseños utilizados en la elaboración de la Curva de Resistencia, asimismo. El Relleno Fluido Ecológico Sustentable (RFES), se ha diseñado utilizando agregados manufacturados y agregados reciclados en una proporción definida, es de puntualizar que los diseños para la construcción de la curva de resistencia del RFES, está elaborada para el cumplimiento de una fluidez nominal de $9 \frac{1}{2}'' \pm$ su tolerancia, del cual se obtuvieron propiedades adecuadas, así como también observaciones sobre esas propiedades para su uso:

A partir de este análisis integral, se exponen a continuación las principales conclusiones y recomendaciones.

5.1 CONCLUSIONES.

1. La viabilidad técnica de la combinación de agregados finos propuesta en los diseños, como el agregado triturado (70%) y agregado reciclado (30%), se debe a la mejor aproximación del cumplimiento del % de pasantes en las mallas #50 y #100 recomendada.
2. La trabajabilidad, se cuantifico por ensayos prácticos de consistencia y facilidad de desplazamiento en las pruebas, los diseños de la construcción de la curva de resistencia del RFES con cuantilla de cemento correspondiente a 125 Kg, 150 Kg 175 Kg, presentan una notable trabajabilidad, con respecto a la resistencia de los RFES con cuantilla de cemento de 50 Kg, 75 Kg y 100 Kg.
3. Los diseños del RFES de 50 Kg, 75 Kg, 100 Kg, con proporciones de agregados triturados (70%) y agregados reciclados (30%), necesitan al menos una cuantilla finos correctivos de material pasante de malla #200 de entre 100 Kg a 150 Kg, para igualar en trabajabilidad y bombeabilidad a los RFES de 125 Kg en adelante.
4. El costo de los diseños del Relleno Fluido Ecológico Sustentable RFES es mayor en \$7.82 (30.63%), al costo del Materiales de Resistencia Baja Controlada MRBC tradicional (Lodocreto) en condiciones de resistencia nominales parecidas.
5. Los resultados a compresión axial de las diferentes pruebas de cada diseño cumplen con la uniformidad requerida, ya que su promedio está dentro del 7.5% con respecto al promedio individual de cada resultado a las edades de 7 y 28 días.
6. La eficiencia promedio del cemento se mantiene relativamente constante entre los valores correspondiente a los diseños del RFES de 125Kg,150Kg y 175Kg., por cada 4.8 Kg aproximadamente en peso de cemento resulta en un valor nominal de 1 Kg/cm^2 de resistencia en la mezcla, lo cual podemos mencionar que el valor relativo al 20% de la cantidad de cemento en los diseños se traduce en resistencia.

7. Los diseños del RFES presenta una pérdida de consistencia en el tiempo por una alta absorción debido a los residuos de mortero presentes en la trituración.
8. A medida que se incrementa la cuantilla de cemento, partiendo de 125kg aumenta la facilidad de colocación y desplazamiento del RFES, a medida disminuye la cuantilla de cemento $\leq$ a 100Kg aumenta la resistencia al desplazamiento.
9. Los porcentajes de tendencias a 7 dias de los diferentes diseños de la Curva de Resistencia del RFES se encuentran distribuidos en los valores siguientes:

50 Kg	67%
75 Kg	58%
100 Kg	63%
125 Kg	57%
150 Kg	62%
175 Kg	57%

Valor promedio estimado 61%.

5.2 RECOMENDACIONES

Con base en los resultados y conclusiones a lo largo del trabajo de investigación, se pueden establecer una serie de recomendaciones y futuros lineamientos, con el objetivo de enriquecer y fomentar el reciclamiento de los materiales de desechos en el País, es por eso que se presentan las siguientes recomendaciones:

1. Extender las fases experimentales con diferentes proporciones de los materiales de explotación controlada (arenas manufacturadas) y desechos de la construcción (concreto), así como también contemplar e incluir los materiales finos correctivos producto del reciclamiento de materiales diversos (vidrio, plástico, etc.) de desechos, que ayuden en el desempeño de las propiedades mecánicas del Relleno Fluido Ecológico Sustentable RFES.
2. Analizar, incluir y fortalecer dentro del marco legal, las alianzas estratégicas que fomenten el uso de materiales desechados en los proyectos, con acuerdos comerciales y técnicos entre el suministrante y suministrados, definiendo el destino de los desechos de concreto y el reúso de este en esa misma o en futuras obras.
3. Evaluar la viabilidad y apoyo en general de las entidades Medioambientales, sobre el uso y fomentación del Relleno Fluido Ecológico Sustentable RFES, como sustituto de los materiales tradicionales (lodocretos, MRBC) evitando el uso de la materia prima (tierra blanca) de explotación desmesurada y daño sin control medio ambiental evidente.
4. El vidrio manufacturado, puede sustituir de forma controlada parte de los finos cementantes y pétreos manufacturados, siempre y cuando se recicle y se reduzca de manera adecuada a tamaños convenientes e incluirlo en los diseños en proporciones medidas en el RFES, en tamaños inferiores a 2mm, pasante de las mallas #50 #100 y #200, lo cual mejora la trabajabilidad, bombeabilidad y resistencia mecánica del RFES, sin temor de una reacción alcali-silice.

5. Será necesario que a futuro se logre equilibrar y asegurar la sustentabilidad del daño provocado al Medio Ambiente, esto se debe lograr con políticas agresivas de las entidades correspondientes para mantener de forma responsable la regulación y por sobre todo la preservación de los recursos naturales vírgenes.
6. Educar y Fomentar el uso de materiales alternativos de desechos, con la finalidad de mejorar las propiedades y corregir deficiencias del Relleno Fluido Ecológico Sustentable RFES, además de incluir otros beneficios de estas actividades:
 - ✓ Otros materiales alternativos puede ser el uso en forma de fibra del plástico desechado, debidamente reciclado, procesado y estandarizado para su uso, ya que dentro de las solicitaciones mecánicas a las cuales está sujeta el RFES, no requiere medidas extraordinarias en cuanto a las exigencias de sus propiedades mecánica y se contribuye al aumento de la ganancia de resistencia residual a la tracción.
7. Aumentar la cantidad de finos convenientes, en la arena triturada.
8. Fomentar la cultura de sustentabilidad medio ambiental, tomando como base los materiales que pueden aglutinarse con el RFES.
9. Generación de empleos, resultante de la sustentabilidad que representa el RFES.
10. Proponer también alguna política fiscal que se plantee darle a los constructores y productores de concreto, el beneficio de reducir algún punto porcentual en impuestos (IVA por ejemplo), por la compra de materiales reciclados proveniente del rechazo de concreto como material constituyente para ser usado como material de Relleno Fluido.

VII. BIBLIOGRAFIA.

- American Concrete Institute, ACI-229R Reported of Controlled Low Strength Materials.
- American Concrete Institute, ACI-211.1 Selected Proportions for Normal Density and High Density Concrete Guide.
- Neville, Adam. (1995). *Tecnología del Concreto*. México: Tecnología del concreto, Adan M Neville.
- Decreto 527 de 2020, por medio del cual se expide la Ley de Gestión Integral y de Residuos de El Salvador. D.O. No. 40.
- Manuel, Pascual. Jesús, Cembreño. Carlos, Ferrer. (2005). *ciencia y tecnología de los materiales*. México: Pearson
- López, Evelio. (2019). Diseño e Implantación de Materiales Didácticos Prácticos para Facilitar el Aprovechamiento de Áridos Reciclados Procedentes de Residuos de Construcción y Demolición (rcd's) Mediante su Empleo en Obras Públicas y Edificación, *Universidad de Salamanca*. (1)
- Vilar, Claudia. (2019). *Diseño y Fabricación de Materiales de Resistencia Baja Controlada*. Barcelona:
- González, Alain. (2012). *Análisis y Fabricación de Materiales de Resistencia Baja Controlada con Áridos Reciclados*. Barcelona:
- ACI 229R-2013.
- Guacaneme, F. (2015). *Ventajas y Usos del Concreto Reciclado*. Nueva Granada: Facultad Ingeniería Civil.
- Neville, A. (1999). *Tecnología del Concreto*. México: M. en A. Soledad Moliné Venanzi.
- Zega, C. (2018). Agregados Reciclados de Hormigón . *Ciencia y Tecnología de los Materiales*, (500), p.42.
- Acosta, W.A. Diaz, B.I. Magaña, B.A. (2017). *Análisis Comparativo de la Resistencia de Suelo Cemento y Lodocreto, Utilizando Diferentes Proporciones de Cemento y Distintos Tipos de Suelos Arenosos y Limosos de El Salvador*. Título Profesional Universidad Técnica Latinoamericana.

VIII. SITIOGRAFIA.

Dirección: <https://concepto.de/medio-ambiente/>

Dirección: <https://www.cement.org/>

Dirección: <https://www.nrmca.org/>

ANEXOS.

CUADRO RESUMEN ENSAYOS RELLENO FLUIDO ECOLOGICO SUSTENTABLE.									
1	METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA ANALISIS POR TAMIZADO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS, ASTM C - 136. (MODULO DE FINURA)								
	ARENA TRITURADA					2.92			
	ARENA RECICLADA					3.08			
	COMBINACION					2.96			
2	METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA 200 (75mm) EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO, ASTM C - 117.								
	ARENA TRITURADA					12.50			
	ARENA RECICLADA					8.60			
3	METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) Y LA ABSORCION DE AGREGADO FINO, ASTM C - 128.								
	ARENA TRITURADA				G.E.		2.56		
					% ABS		3.10		%
	ARENA RECICLADA				G.E.		2.28		
					% ABS		10.50		%
4	METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA DETERMINAR DENSIDAD APARENTE (PESO UNITARIO), E INDICE DE VACIOS EN LOS AGREGADOS, ASTM C - 29.								
	CEMENTO C150				G.E.		3.10		
					% ABS		0.00		%
					P.V.S.		1076.00		Kg/m3
					P.V.V.		0.00		Kg/m3
	ARENA TRITURADA				G.E.		2.56		
					% ABS		3.10		%
					P.V.S.		1607.00		Kg/m3
					P.V.V.		1744.00		Kg/m3
	ARENA RECICLADA				G.E.		2.28		
					% ABS		10.50		%
					P.V.S.		1302.00		Kg/m3
					P.V.V.		1413.00		Kg/m3
5	CONSISTENCIA DE FLUJO EN MATERIAL DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (MRBC), ASTM D - 1603.								
	DISEÑOS PROPUESTOS		50 KG	75 KG	100 KG	125 KG	150 KG	175 KG	
	EXTENSION INICIAL (PLG)		7 3/4"	8"	8 1/2"	8 1/4"	8"	9"	
	EXTENSION FINAL (PLG)		5"	6"	5 1/2"	6"	7 1/2"	8 1/4"	
	DIFERENCIA (PLG)		2 3/4"	2"	3"	2 1/4"	1 1/2"	1 1/4"	

6	METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA TEMPERATURA DEL CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND RECIENTE MEZCLADO, ASTM C - 1064.						
	DISEÑOS PROPUESTOS	50 KG	75 KG	100 KG	125 KG	150 KG	175 KG
	TEMPERATURA (C°)	26.60	28.70	29.60	29.80	29.60	24.70
7	METODO ESTANDAR PARA TIEMPO DE FRAGUADO POR RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MEZCLAS DE CONCRETO(MEDIANTE PENETROMETRO DE BOLSILLO, AGUJA DE 1/20" DE DIAMETRO DE PENETRACION), ASTM C-403						
	DISEÑOS PROPUESTOS	50 KG	75 KG	100 KG	125 KG	150 KG	175 KG
	TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL (H).	4:30:00 AM	3:16:00 AM	3:48:00 AM	3:06:00 AM	3:15:00 AM	4:54:00 AM
8	METODO ESTANDAR DE RESISTENCIA A COMPRESION DE ESPECIMENES DE CILINDROS DE CONCRETO, ASTM C - 39.						
	DISEÑOS PROPUESTOS	50 KG	75 KG	100 KG	125 KG	150 KG	175 KG
	RESISTENCIA ESPERADA (KG/CM2)	5	10	15	20	25	30
	7D (TENDENCIA)	3.00	5.00	7.00	14.00	19.00	21.00
	28 D (CONFIRMACION)	4.00	9.00	11.00	24.00	31.00	36.00
9	PROPORCIONAMIENTO PARA EL RELLENO FLUIDO ECOLOGICO SUSTENTABLE.						
	DISEÑOS PROPUESTOS	50 KG	75 KG	100 KG	125 KG	150 KG	175 KG
	RESISTENCIA ESPERADA (KG/CM2)	5	10	15	20	25	30
	CEMENTO C-150 TIPO 1	50.00	75.00	100.00	125.00	150.00	175.00
	AGUA (LTR)	295.00	290.00	290.00	285.00	290.00	295.00
	ARENA TRITURADA (KG)	1147.00	1142.00	1128.00	1123.00	1100.00	1078.00
	ARENA RECICLADA (KG)	492.00	489.00	483.00	481.00	472.00	462.00

Agresal

AG L 001/F11

Material más fino que la malla No.200 por el método de lavado (ASTM C117)

Fecha de Muestreo: 17/1/2025 Fecha de Ensayo: 17/1/2025
Hora de Muestreo: 09:00 Agregado: ARENA AGGNEO
No. Muestra: PAS 001 ATAG Laborante: Mario Villalobos

Masa Seca Inicial (g)	Masa Seca después de Lavado (g)	% de material mas fino que la malla No.200	
		Valor obtenido	Redondeo Final >10%
785.6	717.7	8.6	



Agresal

AG L 001/F11

Material más fino que la malla No.200 por el método de lavado (ASTM C117)

Fecha de Muestreo: 17/1/2025 Fecha de Ensayo: 17/1/2025
Hora de Muestreo: 09:00 Agregado: ARENA TRITURADA
No. Muestra: PAS 001 ATRR Laborante: Mario Villalobos

Masa Seca Inicial (g)	Masa Seca después de Lavado (g)	% de material mas fino que la malla No.200	
		Valor obtenido	Redondeo Final >10%
848.6	742.5	12.5	13



Fecha del 29/1/2025

Resultado de ensayo de material

10026478 AGGNEO 5MM

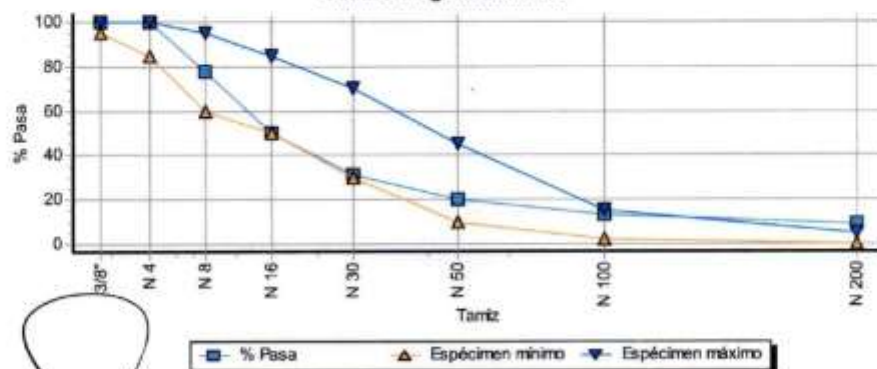
Identificación de la muestra : GRAN ATAG 001
 Fecha muestr. : 17/1/2025
 Muestreado por : Mario Alexander Villalobos
 Proveedor : LABOVEDA
 Procedencia del proveedor :
 Núm. referencia del proveedor :

Planta : PLANTA LA PAZ
 Cliente :
 Atención :
 Proyecto :
 Especificación : AREN TRIT CANT

Granulometría

Tamiz (mm)	Masa retenida	Masa acumulada	% Retenido	% Pasa	Especificación Min	% Pasa Máx
3/8"	0	0	0	100	95	100
N 4	1.1	1.1	0	100	85	100
N 8	169.3	170.4	22	78	60	95
N 16	220.9	391.3	50	50	50	85
N 30	150.4	541.7	69	31	30	70
N 50	90.1	631.8	80	20	10	45
N 100	54.4	686.2	87	13	2	15
N 200	29.8	716	91	9	0	5
Masa inicial de muestra	913.6 g	Porcentaje finos	%	Absorción	%	
Masa retenida en #200 después de Lavado	845.7 g	Módulo de finura	3.08	Humedad de	%	
Masa en fondo	2.8 g	Lotes de Densidad				

Cuadro de granulometría



Probado por :
 Mario Alexander Villalobos
 Fecha : 17/1/2025

Aprobado por :
 Fecha : 29/1/2025
 Certification Number :



Fecha del 29/1/2025

Resultado de ensayo de material

10021388

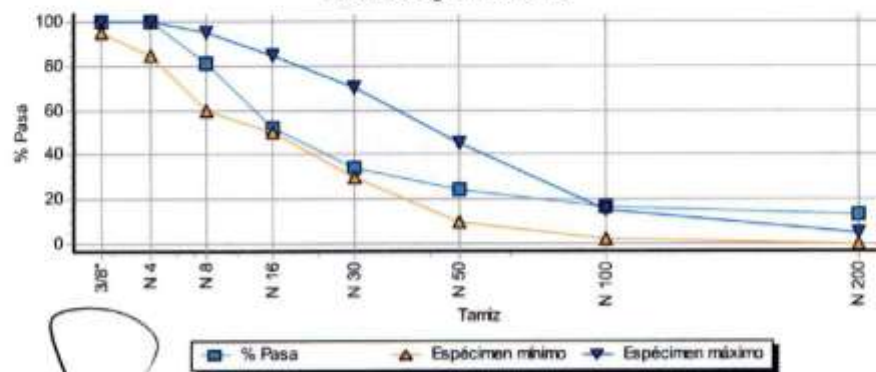
ARENA TRITURADA

Identificación de la muestra :	GRAN 001 ATRR	Planta :	PLANTA LA PAZ
Fecha muestr. :	17/1/2025	Cliente :	
Muestreado por :	Mario Alexander Villalobos	Atención :	
Proveedor :	COMALAPA	Proyecto :	
Procedencia del proveedor :		Especificación :	AREN TRIT CANT
Núm. referencia del proveedor :			

Granulometría

Tamiz (mm)	Masa retenida	Masa acumulada	% Retenido	% Pasa	Especificación Mín	% Pasa Máx
3/8"	0	0	0	100	95	100
N 4	0.5	0.5	0	100	85	100
N 8	161.7	162.2	19	81	60	95
N 16	241.5	403.7	48	52	50	85
N 30	153.8	557.5	66	34	30	70
N 50	90.8	648.3	76	24	10	45
N 100	59.2	707.5	83	17	2	15
N 200	33.7	741.2	87	13	0	5
Masa inicial de muestra	976.6 g	Porcentaje finos	%	Absorción	%	
Masa retenida en #200 después de Lavado	870.5 g	Módulo de finura	2.92	Humedad de	%	
Masa en fondo	2.3 g	Lotes de Densidad				

Cuadro de granulometría



Probado por : 
Mario Alexander Villalobos

Fecha : 17/1/2025

Aprobado por : _____

Fecha : 29/1/2025

Certification Number : _____



Agresal

Pesos Volumétricos de Agregados

Fecha	ene-25
Planta	KM37
Identificación	PVOL 001
Responsable	Mano v. Maldonado
Proyecto	
Periodo	ene-25

Agregado

Arena Triturada Tepeagua

#	P. Suelto+Tara	P. V. Varillado Neto
1	6.23	6.60
2	6.23	6.61
3	6.22	6.64

Tara	1.6835
Volumen	0.00283

#	P. V. Suelto Neto	P. V. Varillado Neto
1	1606	1737
2	1607	1741
3	1603	1751
Promedio	1606	1743

Prom 1674

Agregado

Arena Agnoso Tepeagua

#	P. Suelto+Tara	P. Varillado+ Tara
1	5.36	5.72
2	5.38	5.62
3	5.35	5.66

Tara	1.6839
Volumen	0.00283

#	P. V. Suelto Neto	P. V. Varillado Neto
1	1299	1424
2	1306	1392
3	1296	1404
Promedio	1300	1407

Prom 1354



Agresal

Determinación de Gravedad Específica SSS y Absorción del Agregado Fino (ASTM C128)

Fecha de Muestreo: 17/1/2025
 Hora de Muestreo: 09:00
 No. Muestra: GESF AGGNEO 1

Fecha de Ensayo: 18/1/2025
 Agregado: Arena Triturada Recic.
 Laborante: Mario M. Nolasco

Cálculo de Gravedad Específica SSS				
Masa SSS (g) "S"	Masa del Picnómetro con agua hasta marca de calibración (g) "B"	Masa del Picnómetro con especimen y agua hasta marca de calibración (g) "C"	Temperatura del agua (°C)	Gravedad Específica SSS (S/(B+S-C))
501.9	670.4	951.7	23.1	2.28

Cálculo de Porcentaje de Absorción		
Masa SSS (g) "B"	Masa Seca (g) "A"	% de Absorción ((B-A)/A)100
501.2	453.6	10.5



Agresal

AG L 001/F6

Determinación de Gravedad Específica SSS y Absorción del Agregado Fino (ASTM C128)

Fecha de Muestreo: 17/1/2025
Hora de Muestreo: 09:00
No. Muestra: GESP ATRITURADA 1

Fecha de Ensayo: 18/1/2025
Agregado: Arena Triturada
Laborante: Mario V. J. J. J.

Cálculo de Gravedad Específica SSS				
Masa SSS (g) "S"	Masa del Picnómetro con agua hasta marca de calibración (g) "B"	Masa del Picnómetro con espécimen y agua hasta marca de calibración (g) "C"	Temperatura del agua (°C)	Gravedad Específica SSS (S/(B+S-C))
500.5	670.4	975.3	23.1	2.56

Cálculo de Porcentaje de Absorción		
Masa SSS (g) "B"	Masa Seca (g) "A"	% de Absorción ((B-A)/A)100
501.5	486.4	3.1



Planta KSA1

Cliente

Proyecto

Pruebas Relleno Fluido Ecologico Sustentable

Tesis Universitaria

[illegible]

falla 1	falla 2	falla 3	falla 4	falla 5
1	1	1	1	1
2	2	2	2	2
3	3	3	3	3
4	4	4	4	4
5	5	5	5	5
6	6	6	6	6
7	7	7	7	7
8	8	8	8	8
9	9	9	9	9
10	10	10	10	10
11	11	11	11	11
12	12	12	12	12
13	13	13	13	13
14	14	14	14	14
15	15	15	15	15
16	16	16	16	16
17	17	17	17	17
18	18	18	18	18
19	19	19	19	19
20	20	20	20	20
21	21	21	21	21
22	22	22	22	22
23	23	23	23	23
24	24	24	24	24
25	25	25	25	25
26	26	26	26	26
27	27	27	27	27
28	28	28	28	28
29	29	29	29	29
30	30	30	30	30
31	31	31	31	31
32	32	32	32	32
33	33	33	33	33
34	34	34	34	34
35	35	35	35	35
36	36	36	36	36
37	37	37	37	37
38	38	38	38	38
39	39	39	39	39
40	40	40	40	40
41	41	41	41	41
42	42	42	42	42
43	43	43	43	43
44	44	44	44	44
45	45	45	45	45
46	46	46	46	46
47	47	47	47	47
48	48	48	48	48
49	49	49	49	49
50	50	50	50	50
51	51	51	51	51
52	52	52	52	52
53	53	53	53	53
54	54	54	54	54
55	55	55	55	55
56	56	56	56	56
57	57	57	57	57
58	58	58	58	58
59	59	59	59	59
60	60	60	60	60
61	61	61	61	61
62	62	62	62	62
63	63	63	63	63
64	64	64	64	64
65	65	65	65	65
66	66	66	66	66
67	67	67	67	67
68	68	68	68	68
69	69	69	69	69
70	70	70	70	70
71	71	71	71	71
72	72	72	72	72
73	73	73	73	73
74	74	74	74	74
75	75	75	75	75
76	76	76	76	76
77	77	77	77	77
78	78	78	78	78
79	79	79	79	79
80	80	80	80	80
81	81	81	81	81
82	82	82	82	82
83	83	83	83	83
84	84	84	84	84
85	85	85	85	85
86	86	86	86	86
87	87	87		

Film

Elaboro

Cargo

Fima

Autorizo Nestor Alejandro Gil Bores

Cargos Analista de Laboratorio Control Calidad

Plantas KSA1

Cliente

Proyecto

Pruebas Relleno Fluido Ecologico Sustentable

Tesis Universitaria

Resistencia a la Compresion de Especimenes de Concreto

ASTM C-39

CCP 002/F1.1 Rev. 9.0

[illegible]

	falla 1	falla 2	falla 3	falla 4	falla 5
Firma					
Elabora					
Cargo					



Holcim Concrete, S.A. de C.V.

Autorizo Nestor Alejandro Gil Bores
 Cargo Analista de Laboratorio a Control de Calidad

Hoja No. 1 de 1
 Fecha: 10/05/2017
 Hora: 10:00 AM
 Lugar: Oficina de Control de Calidad
 Proyecto: Construcción de la obra de la planta de procesamiento de cemento

Plant# KSA1

Cliente

Proyecto

Pruebas Relleno Fluido Ecologico Sustentable

Tesis Universitaria

ASTM C-39

[illegible]

Finns 

Firma

Autorizo Wesley Alejandro Gil Bojars

Cargo Analista de Laboratorio Control Calidad



	falla 1	falla 2	falla 3	falla 4	falla 5
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1
27	1	1	1	1	1
28	1	1	1	1	1
29	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1
31	1	1	1	1	1
32	1	1	1	1	1
33	1	1	1	1	1
34	1	1	1	1	1
35	1	1	1	1	1
36	1	1	1	1	1
37	1	1	1	1	1
38	1	1	1	1	1
39	1	1	1	1	1
40	1	1	1	1	1
41	1	1	1	1	1
42	1	1	1	1	1
43	1	1	1	1	1
44	1	1	1	1	1
45	1	1	1	1	1
46	1	1	1	1	1
47	1	1	1	1	1
48	1	1	1	1	1
49	1	1	1	1	1
50	1	1	1	1	1
51	1	1	1	1	1
52	1	1	1	1	1
53	1	1	1	1	1
54	1	1	1	1	1
55	1	1	1	1	1
56	1	1	1	1	1
57	1	1	1	1	1
58	1	1	1	1	1
59	1	1	1	1	1
60	1	1	1	1	1
61	1	1	1	1	1
62	1	1	1	1	1
63	1	1	1	1	1
64	1	1	1	1	1
65	1	1	1	1	1
66	1	1	1	1	1
67	1	1	1	1	1
68	1	1	1	1	1
69	1	1	1	1	1
70	1	1	1	1	1
71	1	1	1	1	1
72	1	1	1	1	1
73	1	1	1	1	1
74	1	1	1	1	1
75	1	1	1	1	1
76	1	1	1	1	1
77	1	1	1	1	1
78	1	1	1	1	1
79	1	1	1	1	1
80	1	1	1	1	1
81	1	1			



Plantas KSA1

Pruebas Relleno Fluido Ecologico Sustentable

Proyecto
Tesis Universitaria

Tesis Universitaria

[illegible][illegible]