

Evaluación global del proceso de producción de concreto Premezclado de la planta de Barranca-Puntarenas de la empresa Concrepal

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

CONSTANCIA DE PRESENTACIÓN PÚBLICA DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Evaluación global del proceso de producción de concreto premezclado de la planta de Barranca-Puntarenas de la empresa Concrepal

Llevado a cabo por el estudiante:

Bogantes Benavides Johnny

Carné: 2019157383

Trabajo Final de Graduación presentado públicamente ante el Tribunal Evaluador el miércoles 21 de febrero de 2024 como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

En fe de lo anterior firman los siguientes integrantes del Tribunal evaluador:

MILTON ANTONIO SANDOVAL QUIROS (FIRMA)

Firmado digitalmente por
MILTON ANTONIO SANDOVAL QUIROS (FIRMA)
Fecha: 2024.02.21 13:58:44 -06'00'

Ing. Milton Sandoval Quirós, MAE
Representante del Director de la Escuela

ROMMEL LEZING CUEVAS KAUFFMANN (FIRMA)

Firmado digitalmente por
ROMMEL LEZING CUEVAS KAUFFMANN (FIRMA)
Fecha: 2024.02.28 10:33:26 -06'00'

Ing. Rommel Cuevas Kauffmann
Profesor Guía

MAURICIO ESTEBAN ARAYA RODRIGUEZ (FIRMA)

Firmado digitalmente por MAURICIO ESTEBAN ARAYA RODRIGUEZ (FIRMA)
Fecha: 2024.03.04 16:00:10 -06'00'

Ing. Mauricio Araya Rodríguez
Profesor Lector

MANUEL ANTONIO ALLAN ZUÑIGA (FIRMA)

Firmado digitalmente por
MANUEL ANTONIO ALLAN ZUÑIGA (FIRMA)
Fecha: 2024.03.06 11:03:20 -06'00'

Ing. Manuel Alán Zúñiga, MGP, MBA
Profesor Observador

Resumen

En este proyecto se realizó una evaluación del proceso de producción del concreto premezclado en Concrepal, planta de Barranca, por medio del análisis del desempeño del mismo y su proceso de mezclado, además del análisis de la productividad de la planta. Para el análisis del proceso de producción, se consideró normas ASTM e INTECO, para la caracterización agregados y del concreto premezclado, así como la herramienta de *carta de balance* para medir la productividad de la planta. Entre los principales resultados obtenidos se encuentra una matriz de incumplimientos de cada norma utilizada y el estado actual de la planta en términos de productividad según los indicadores. Se concluyó que los agregados utilizados no cumplen los criterios establecidos en las especificaciones, mientras que se determinó un buen desempeño del concreto premezclado, además, la existencia de algunos incumplimientos en el muestreo y procedimiento de ensayos; entretanto, en la productividad se determinó que los tiempos no contributivos son mínimos, los volúmenes de concreto entregado a los clientes es el correcto, mientras que la calidad debe mejorar. Finalmente, con base en las principales deficiencias encontradas se plantearon las propuestas de mejora para la optimización del proceso de producción, tanto en el control de calidad como en la planta de producción.

Palabras clave: mezcla de concreto premezclado, control de calidad, productividad, planta de producción, carta de balance.

Abstract

In this project, an evaluation of the production process of the ready-mixed concrete in Concrepal was carried out at the Barranca plant through the analysis of the performance of the premixed concrete and the mixing process, as well as the analysis of the plant's productivity. To study the production process, ASTM and INTECO standards were considered for the aggregated characterization and ready-mixed concrete, as well as the crew balance tool to measure the plant's productivity. Among the main results obtained is a matrix of breaches of each standard used and the current state of the plant in terms of productivity according to the indicators. It was concluded that the aggregates used did not meet the criteria set out in the specifications. At the same time, good performance of the ready-mixed concrete was determined, in addition to some non-compliance in the sampling and testing procedure. Meanwhile, in productivity, it was determined that non-contributory times are minimal, the concrete volumes delivered to customers are correct, and the quality should improve. Finally, based on the primary deficiencies found, proposals for improvement for optimizing the production process were raised, both in the quality control and in the production plant.

Keywords: Ready-Mixed Concrete, quality control, productivity, production plant, crew balance.

Evaluación global del proceso de producción de concreto Premezclado de la planta de Barranca-Puntarenas de la empresa Concrepal

JOHNNY DAVID BOGANTES BENAVIDES

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Noviembre de 2023

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Resumen ejecutivo	7
Introducción	9
Capítulo 1: Marco teórico	15
Capítulo 2: Metodología	36
Capítulo 3: Resultados	49
Capítulo 4: Análisis de resultados	116
Conclusiones y recomendaciones.....	137
Referencias.....	140
Apéndices.....	145
Anexos.....	187

Resumen ejecutivo

Este proyecto consistió en la propuesta de mejoras del proceso de producción del concreto premezclado en la planta de producción de la empresa Concrepal, debido a que la empresa necesitaba realizar una evaluación en la planta de concreto premezclado. El proyecto planteó tres objetivos principales: el primero se basó en la verificación del desempeño del concreto premezclado por medio de un control de calidad aplicado al concreto premezclado y sus agregados, el segundo comprende el análisis de la productividad de la planta de concreto premezclado, mediante la utilización de herramientas que faciliten dicho análisis, por último, el tercer objetivo establece las propuestas de mejora para la optimización del proceso de la elaboración del concreto premezclado, se fundamentó en los resultados de los objetivos anteriores, de los cuales se determinaron los aspectos que presentaban mayores deficiencias o amplios márgenes de mejora. De esta manera, se establecieron las propuestas para optimizar la producción de concreto premezclado.

La importancia de este proyecto y de los temas abordados para la Escuela de Ingeniería en Construcción, se funda en el conocimiento del funcionamiento de una planta de producción de concreto premezclado, asimismo, en la aplicación de herramientas de medición y análisis de productividad en una planta de producción de concreto premezclado, por otra parte, la posibilidad de identificar deficiencias en dicho proceso y establecer propuestas para solventarlas.

Se destaca que este proyecto contribuye a dos de los Objetivos de Desarrollo sostenible, el número 9: Industria, Innovación e infraestructura y el número 12: Producción y consumo responsable. Lo anterior, por cuanto con este proyecto se busca mejorar el proceso de control de calidad y producción de concreto premezclado, para ofrecer un producto que cumpla con los más altos estándares de calidad y lograr la disminución de desperdicios innecesarios, por concreto que no puede ser entregado debido a que no cumple con los requerimientos necesarios. Además, si se mantiene la planta de producción con un mantenimiento adecuado, no solo disminuirá la cantidad de materiales desperdiciados, sino que también se reducirá, a largo plazo, la cantidad de las piezas mecánicas que se deben sustituir por desgaste.

La metodología utilizada en este proyecto se basa principalmente en la evaluación de los procesos de control de calidad mediante las normas estandarizadas de ASTM e INTECO; estas últimas fueron provistas por el Departamento de Control de Calidad de la empresa. La productividad se analizó principalmente mediante la herramienta *carta de balance* y se complementó con diagramas de recorridos y diagramas *value stream mapping*.

Entre los resultados obtenidos se encuentra una matriz comparativa de las características cumplidas e incumplidas por cada una de los ensayos y normas abarcadas tanto de ASTM como de INTECO, además de los ensayos aplicados a los aditivos para conocer su comportamiento y compararlo con la respectiva ficha técnica. En temas de productividad se obtuvieron mediciones de los tiempos aproximados del proceso de carga de los camiones de premezclado, así como su clasificación según el tipo de trabajo representado, entre los cuales destacan: el trabajo productivo, contributivo y no productivo; además, se elaboraron los diagramas de recorrido y *value stream mapping*.

Con base en el análisis de los resultados se concluyó que el desempeño del concreto premezclado es el adecuado, mientras que, los agregados implementados en el proceso de producción del concreto premezclado presentaron incumplimientos; cabe indicar, que los incumplimientos encontrados se ubican principalmente en el muestreo y procedimiento de los ensayos. Además, se concluyó que en la producción de concreto premezclado se encontraron una serie de incumplimientos con respecto a las normas utilizadas los cuales se abarcaran en este documento, por lo que se evidencia que el control calidad del concreto premezclado puede mejorar, además, en el análisis de productividad se encontró un porcentaje muy reducido de los tiempos de trabajo no contributivo, por lo que la producción no presenta tiempos muertos significativos, además, con base en los resultados de los ensayos de peso unitario y rendimiento del concreto se determinó que se cumple con los volúmenes de mezcla solicitado por el cliente.

Finalmente, con base en las principales deficiencias encontradas se plantearon las propuestas de mejora para la optimización del proceso de producción, tanto en el control de calidad como en la planta de producción. Estas propuestas son: revisión del muestro y procedimiento de los ensayos realizados, mejorar el proceso de curado de los cilindros de concreto para los ensayos de resistencia a la compresión, realizar un mayor mantenimiento a la planta de concreto premezclado, proteger de mejor manera las muestras de concreto premezclado y mezclar el concreto premezclado completamente.

Introducción

En el presente proyecto se busca resolver los principales problemas detectados en la Evaluación Global de Producción del proceso de la realización del concreto premezclado en la planta de Barranca de la empresa Concrepal, específicamente los relacionados al control de calidad, el cual incluye el desempeño de concreto premezclado, el proceso de mezclado de los materiales y función de los aditivos, así como también los problemas presentes en la productividad, los cuales corresponden al tiempo que tarda en conformarse la mezcla dentro de la mezcladora.

En la planta de producción de la empresa Concrepal Barranca, se trabaja con distintos departamentos donde se integran varios procesos productivos, los cuales son: industria de prefabricados de concreto, extracción y trituración de agregados, construcción, venta y producción de materiales de concreto como bloques y tubos y en concreto premezclado. Este último es el departamento en el cual se realizará el presente proyecto. El motivo principal para llevar a cabo este trabajo es que la empresa busca desarrollar un EGP (Evaluación Global de Producción) en sus distintos departamentos, como en productos prefabricados, por lo que buscan continuar en el área de Concreto Premezclado, con el propósito de mejorar sus procesos, en los tiempos de producción y entrega y en la calidad, para poder ofrecer a sus clientes productos que cumplan con los requerimientos necesarios; aunado a esto, son claros en cumplir con la misión y visión establecidos por la empresa, la cual es ofrecer sus productos con los más altos estándares de calidad al mercado de la construcción, para así generar valor a la sociedad, a sus clientes, colaboradores y accionistas, además de realizarlo en armonía con el medio ambiente y ser líderes en la innovación, producción y comercialización en el mercado de los productos derivados de concreto (Concrepal, 2021).

Como resultados de la EGP que obtiene la empresa, se encuentra una mejora significativa en el proceso de producción de concreto premezclado, con disminución los tiempos muertos o no contributivos de la producción, disminución del tiempo de producción y así como la mejora de la calidad del concreto premezclado, lo cual sería de gran beneficio para los clientes. Para la realización de este proyecto es importante reconocer que se promueve el cumplimiento de dos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS); estos son el ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura y el ODS 12: Producción y Consumo Responsable. El primer objetivo que corresponde al ODS 9, se centra en la construcción de infraestructura resiliente, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación ODS Costa Rica (2023); en cuanto al siguiente objetivo, el cual corresponde al ODS 12, este plantea garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles ODS Costa Rica (2023).

Antecedentes

Se han desarrollado estudios de la productividad en las plantas en el ámbito internacional, como el análisis estadístico de la producción portuguesa de concreto premezclado, en el cual se evaluó y comparó la variabilidad de la resistencia a compresión del concreto, en tres plantas de concreto premezclado en Portugal; también se propuso un modelo probabilístico para un factor de sesgo en cuanto al análisis de confiabilidad (Pacheco, de Brito, Chastre & Evangelista, 2019). Con base en lo mencionado anteriormente, se observa que la productividad puede ser evaluada desde un indicador de resistencia a la compresión; por otra parte, como la empresa donde se desarrolló el proyecto utiliza otros aspectos se decidió implementar herramientas como *carta de balance* y la evaluación del control de calidad para analizar la productividad de la planta.

Por su parte, en el tema del control de calidad también se han desarrollado estudios en otras partes del mundo, como la gestión de la calidad a la mejora continua en el proceso de producción de concreto premezclado, donde se enfocó realizar mejoras continuas en el sistema de calidad. En el estudio se identificaron problemas en el proceso de producción y la clara falta de un sistema de gestión de calidad; por otra parte, se menciona una serie de medidas necesarias para predecir y analizar posibles problemas o fallas en el proceso y encontrar soluciones basadas en información real; se destaca que el autor utiliza varias herramientas y técnicas de gestión, para identificar y abordar problemas en el proceso y sugerir soluciones para cada problema, además de proporcionar una visión detallada de cómo la gestión de calidad puede mejorar el proceso de producción de concreto premezclado en plantas de dosificación (AL-Saedi, Paslawski & Nowotarski, 2019). De manera de similar a lo mencionado a inicios del apartado, el estudio anterior deja en evidencia la importancia de un correcto control de calidad y como este puede afectar el proceso de producción, por lo que se decidió evaluar el proceso de control de calidad en la empresa por medio del análisis de las normas aplicadas en dicho proceso, esto para identificar posibles problemas y proponer sus debidas mejoras.

En relación con la idea anterior, resulta claro que se han desarrollado proyectos a nivel internacional. Dentro del país se han implementado estudios relacionados con el control de calidad en el concreto premezclado, como es el caso de la investigación sobre la calidad del concreto hecho en obra en la Gran Área Metropolitana (GAM). Enfocó la evaluación de la calidad del concreto en término de resistencia a la compresión y temperatura, entre otros parámetros, además, proporcionó información relevante sobre la calidad del concreto producido en la GAM y recomendaciones para mejorar la calidad del concreto producido en sitio, lo que genera implicaciones en la seguridad y la durabilidad de las construcciones, según lo indica (ICCYC & CFIA, 2020). Es importante destacar una limitación del estudio, la cual puede afectar su aplicabilidad en las otras regiones del país, puesto que se realizó únicamente en la GAM. Como se mencionó anteriormente, la relación que presenta este último trabajo mencionado con el que se realizó, es el análisis al concreto premezclado, para asegurar y comprobar el debido desempeño del concreto hidráulico.

Por consiguiente, se destacan los temas mencionados, tales como, el control de calidad y los procesos productivos, para un fortalecimiento de su integración dentro del proyecto por desarrollar. Según menciona PMI (2000) citado por AL-Saedi et al (2019), el control de calidad es el proceso de monitorear y evaluar los resultados del proceso para la determinación del cumplimiento con los estándares de calidad asociados y definir las formas de eliminar las causas de un rendimiento no conforme, por lo cual se puede decir que es el proceso para asegurarse del cumplimiento, por parte de un producto o servicio, de los requisitos y expectativas del cliente, de modo que se produzcan de manera consistente y confiable. Además, el proceso se define como la producción y entrega del producto y la gestión de residuos en el contexto de la industria de la construcción (Kazaz, Ulubeyli, Er, Arslan, Arslan & Atici, 2015).

Objetivos

Objetivo general

- Desarrollar una Evaluación Global de Producción para la verificación del control de calidad del concreto premezclado y el análisis de la productividad de la planta de concreto premezclado para la presentación de las propuestas de mejora.

Objetivos específicos

- Verificar el desempeño del concreto premezclado y el proceso de mezclado por medio de un control de calidad del concreto premezclado para la determinación de las posibles fuentes del problema.
- Analizar la productividad de la planta de concreto premezclado para la valoración del tiempo efectivo, por medio de mediciones de productividad.
- Establecer las propuestas de mejora para la optimización del proceso de la elaboración del concreto premezclado, por medio de la verificación del desempeño del concreto premezclado, su mezclado y del análisis de la productividad en la planta.

Alcance y limitaciones

El presente proyecto tiene como fin la presentación de propuestas para la mejora en el control de calidad y en la productividad de la planta, por medio de la Evaluación Global de Producción. Para cumplir con este objetivo, se realizó un control de calidad en el proceso de producción del concreto premezclado, específicamente en el diseño de la mezcla y el proceso de mezclado, además del análisis de la productividad de la planta. Para el presente caso no se pretende poner en práctica las propuestas presentadas, por lo que no se conoce el impacto que presentan estas en la producción del concreto premezclado. Sin embargo, se espera que dichas medidas generen las mejoras deseadas en el proceso de producción del concreto premezclado.

Para la verificación del control de calidad del concreto premezclado, se efectuaron los ensayos para analizar el desempeño del concreto premezclado, así como el mezclado, además, de su producción. Asimismo, en relación con el aditivo, se examinó el efecto que tiene este en el concreto, verificando así, si cumple con su función. Esto con el fin de identificar las posibles fuentes o causas de los problemas que presenta el concreto premezclado en su mezclado.

Cabe indicar que, es por medio del documento ACI 211.1-91 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (Reapproved 2002) que comúnmente se realiza el diseño de mezcla, pero, para efectos de este informe, no se evaluó el método y procedimiento de la empresa para realizar el diseño de las mezclas de concreto prefabricado; esto debido a que no se les ha permitido compartir este tipo de información con personas externas a la empresa y encargados de elaborar los diseños.

Ahora bien, con respecto a la productividad de la planta de producción del concreto premezclado, se realizaron mediciones de los tiempos, para identificar los trabajos productivos, contributivos y no contributivos; y de esta misma manera, las causas de los tiempos muertos de la planta para su debida identificación.

Con base en la información obtenida en el proceso de Evaluación Global de Producción, se investigaron las medidas más apropiadas para la optimización del proceso de producción de concreto premezclado. La bibliografía verificada no se limitó al ámbito nacional, sino, se buscaron e investigaron estudios internacionales.

Para la realización de este proyecto existe una serie de problemas y limitaciones que puede afectar su cumplimiento, por lo que se propone a su vez acciones de mitigación de los posibles impactos.

Las principales limitaciones del control de calidad son posibles problemas relacionados con los ensayos por realizar para la verificación del control de calidad, como en su elaboración o alcance de estos, por ello, se verificó que los ensayos se realicen con base en las normas nacionales e internacionales, para evitar errores en la elaboración, interpretación e identificar su respectivo alcance.

Respecto de la productividad, las limitaciones son dadas por problemas relacionados con el mantenimiento, donde se descartaron los conteos de los tiempos de producción de la planta que fueron

afectados, demostrando que no existe una alteración dentro del análisis de productividad. Por último, para la investigación y planteamiento de las medidas se evitó el uso de fuentes poco confiables o cuyas soluciones no se adapten al presente proyecto final. Se usaron, por lo tanto, las bases de datos que ofrece la universidad a los estudiantes e investigaciones con información confiable; de modo que lo consignado permita realizar procesos de interpretación válidos.

Cabe destacar que, se establece como una limitante el inexistente acceso a las normas ACI por medio de la biblioteca de la institución, además, se destaca que dicha biblioteca solicitó los documentos a la Universidad de Costa Rica y a la Universidad Nacional, sin embargo, estos tampoco cuentan con el acceso a las normas mencionadas, por lo que el medio utilizado para obtener algunas normas, fue en buscadores digitales.

Agradecimientos

Me gustaría reconocer que este proyecto final de graduación ha requerido de esfuerzo y de mucha dedicación de mi parte, sin embargo, no hubiese sido posible su finalización sin el apoyo y cooperación de todas y cada una de las personas que a continuación mencionaré, pues fueron un soporte muy fuerte durante mi proceso de la formación profesional.

Primero, quiero dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por culminar esta etapa tan importante de mi vida. Asimismo, le estoy muy agradecido por darme la oportunidad de convertirme en un gran profesional, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente durante todos estos años y en el proceso de este proyecto tan importante.

Quiero brindar mi sincero agradecimiento a toda familia, por el apoyo de hoy y siempre, porque a pesar de los años nunca dejaron de creer en mis capacidades. De igual manera, estoy agradecido de poder complacer a mis padres, Johnny Bogantes Mora y Ana Iris Benavides Cruz, ya que su apoyo fue de manera incondicional; además, a mis hermanas: Stephanie y Laura Bogantes Benavides por también estar a mi lado en cada etapa.

Me gustaría agradecer a mi novia, Reichel Ramírez, quien es la persona más especial, esforzada, atenta y dedicada que conozco. Reichel me ha acompañado y apoyado en cada parte de este proceso, desde que la conocí. Este logro es gracias a ella, porque siempre me anima a seguir adelante. Te amo, espero compartir muchos logros más contigo.

Resulta importante expresar un agradecimiento muy especial a un gran amigo y compañero, Allan Rodríguez, quien ya no nos acompaña en esta vida debido a que perdió la batalla contra el Covid-19 en el año 2021, sin embargo, iniciamos este proceso académico juntos.

Igualmente, quiero agradecer a cada uno de los profesores que, a lo largo del proceso de formación, fueron parte importante en mi formación profesional, por su desempeño en cada curso y por mantener una vocación ejemplar ante los estudiantes.

A cada uno de mis compañeros de carrera, en especial Rónald Jiménez, a quien conozco desde el colegio y a Álvaro Sancho, que se convirtió rápidamente en un gran amigo. Quiero agradecerles por su colaboración, por brindarme su apoyo y ánimo cuando era necesario a lo largo de estos años de estudio y por los buenos momentos que compartimos juntos.

Finalmente, deseo extender un reconocimiento a todo el personal de la empresa Concrepal, lugar donde se realizó la práctica final; por su colaboración e interés en este trabajo y por demostrar su gran profesionalismo y consideración hacia mi persona, en especial a Elian, Alcides, Ermis, Marvin, Víctor y Eliezer.

Capítulo 1: Marco teórico

En el presente apartado se encuentran enfoques y conceptos referentes al tema del concreto y sus componentes.

Barrantes (2002), describe que el marco teórico está determinado por las características y necesidades de la investigación. Está constituido por postulados de autores e investigadores que han hecho referencia al problema en estudios previos que nos permiten tener una visión de las formulaciones teóricas sobre las que se fundamenta el conocimiento científico correspondiente (p.126).

Este apartado toma en cuenta diversos términos abordados en estudios previos referentes al tema central de la investigación, con el objetivo de fortalecer y fundamentar la línea investigativa.

Entre las temáticas y términos tomados en cuenta se consideran:

- Concreto hidráulico
- Concreto premezclado
- Agregados
- Aditivos
- Diseño de concreto premezclado
- Normas utilizadas para evaluar el concreto premezclado
- Productividad
- Propuestas de mejora

Entre las definiciones importantes de destacar se encuentran: Observación, observación participante, estrategias metodológicas y revisión documental, las cuales se abarcarán en el marco metodológico.

La observación se puede definir como “un proceso que requiere atención voluntaria, selectiva, inteligente, orientada por un proceso terminar u organizador” (Santos Guerra, 1993, p.12). Por otra parte, la observación participante según Santana (2010), se puede definir de la siguiente manera:

Es una técnica de recogida de información en la cual el observador participa en la vida del grupo u organización que estudia, es decir, el investigador se sumerge en el escenario y en la vida de los sujetos, objeto de estudio para oír, ver y desarrollar como los sujetos que la viven, que implica la intervención directa del observador de forma que el investigador puede intervenir en la vida del grupo (p.290).

Aguilar Gordón, Abril Ordoñez & Santander Quinaluisa (2022) señalan que “las estrategias metodológicas son procesos mediante los cuales se seleccionan, coordinan y aplican todas las habilidades que el individuo posee, estas estrategias metodológicas se vinculan al aprendizaje significativo, con el aprender a aprender” (p.1).

Finalmente, Quintana (1996) menciona, con respecto a la revisión documental, que “constituye el punto de entrada a la investigación, incluso en ocasiones es el origen del tema o problema de investigación. Los documentos fuente pueden ser de naturaleza diversa: personales, institucionales o grupales, formales o informales” (p. 34). Además, Gómez Rodríguez, Carranza Abella & Ramos Pinadal (2016), aseguran que “La revisión documental, como herramienta ayuda en la construcción del conocimiento” (p. 8).

1.1 Concreto hidráulico

El concreto es una mezcla de distintos materiales, entre los cuales se encuentran, principalmente, el cemento hidráulico, agua, agregado grueso y agregado fino; en ellos comúnmente se utiliza piedra triturada y arena, respectivamente, así como el agua. Además, hay un material que se agrega a la mezcla de concreto, altamente utilizado por las empresas concreteras, constituido por los aditivos; estos permiten variar las características físicas de la mezcla por un período o permanentemente. El cemento hidráulico, en conjunto con el agua, forma la pasta, que es el medio o material donde se agrupa el resto de los materiales en la mezcla de concreto. Como mencionan Guevara Fallas, Hidalgo Madrigal, Pizarro García, Rodríguez Valenciano, Rojas Vega & Segura Guzmán (2012), la pasta está compuesta por cemento hidráulico y agua; esta une los agregados, que normalmente son arena y grava (piedra triturada), lo que crea una masa similar a una roca.

El cemento hidráulico, según el IMCYC (2009), es un material inorgánico finamente pulverizado al que se agrega agua, grava u otros materiales similares, además, tiene la propiedad de fraguar y endurecer; esto en virtud de sus reacciones químicas durante la hidratación de sus partículas. Una vez que se endurece conserva su resistencia y estabilidad. Estudiantes del Tecnológico de Costa Rica mencionan Guevara Fallas *et al.* (2012) para definir el concreto como un material obtenido de una mezcla de componentes: conglomerante (cemento), agregados (arena y piedra), agua y, de manera opcional, aditivos. Por otro lado, el agua por utilizar en la mezcla se busca que sea limpia, libre de cualquier material orgánico y sustancias que podrían ser dañinas para el concreto o el acero de refuerzo. El agua es de los materiales de mayor relevancia en la mezcla de concreto, debido a varios factores; entre ellos puede citarse que el agua, al interactuar con el cemento, provoca que este entre en reacción para así fraguar y endurecerse.

La mezcla inicialmente tiene características plásticas, para posteriormente en el proceso de endurecimiento generar la resistencia de soportar los esfuerzos mecánicos, cabe destacar que el agregado grueso es el material que más le aporta resistencia a la mezcla de concreto. En Costa Rica uno de los materiales más utilizados en el área de la construcción es el concreto hidráulico, en todo los tipos de estructuras, esto se debe a las características de resistencia, versatilidad, durabilidad, economía, y siendo el cemento hidráulico uno de sus principales componentes (Delgado Castro, Muñoz Umaña & Rodríguez Rojas, 2020).

Como indica la ACI (1991), la selección de las proporciones del concreto implica un balance entre el costo, los requisitos de ubicación, resistencia, durabilidad, densidad, apariencia, entre otras características, las cuales dependen del uso que se le da al concreto y de las condiciones esperadas al colocar la mezcla. En relación con lo mencionado anteriormente, el concreto es utilizado para una gran cantidad de usos, como puede ser en productos terminados como blocks, tubos, paneles y columnas prefabricadas, y diferentes tipos de estructuras; también en un edificio de varios niveles, rellenos, aceras, entre otros. Cada uno de estos usos, tiene una proporción de mezcla distinto, por cuanto cada lugar de construcción es diferente.

Entre las características más importantes se encuentra la trabajabilidad, la consistencia, la resistencia, relación agua/cemento, la durabilidad y la densidad, las cuales se definirán a continuación.

Según la ACI (1991), la trabajabilidad es aquella propiedad del concreto que determina su capacidad para ser colocado y consolidado adecuadamente, además, esta se ve afectada por la forma de las partículas, proporciones del agregado, cantidad de cemento, porcentaje de aire atrapado y aditivos. Por otro lado, se establece que la consistencia es la movilidad relativa de la mezcla de concreto, la cual se mide por medio del asentamiento y afecta la fluidez del concreto durante su colocación (ACI, 1991). La ACI (1991) establece que algunas exposiciones del concreto a la congelación, humectación, calentamiento, productos químicos, entre otros, pueden afectar su durabilidad y resistencia, al grado que pueden privarlo de su capacidad de servicio; también señala la relación agua/cemento como la cantidad neta de agua utilizada por unidad de cemento. En la cantidad neta de agua se excluye el agua absorbida por los agregados. Mencionan Guevara Fallas *et al.* (2012), que, en la relación agua/cemento, la importancia del agua resulta ser de gran magnitud, pues esta se encuentra altamente ligada a una gran cantidad de propiedades del material final que se obtendrá, en donde comúnmente, conforme más agua se adicione aumenta la fluidez de la mezcla y por tanto, la trabajabilidad y plasticidad. Esto es de gran beneficio para la mano de obra, pero también hace que la resistencia del concreto disminuya, por el mayor volumen de espacios creados por el agua libre.

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto a carga axial; este generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Filio Chagua, 2019) y densidad o peso unitario, Gutiérrez de López (2003) lo define como la relación entre el peso de una muestra de agregado compuesto de varias partículas y el volumen que ocupan estas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido, por tanto, el peso unitario aumentará si dentro del volumen, este contiene mayor cantidad de material, lo que dependerá de la granulometría, tamaño, forma y textura del agregado.

1.2 Concreto premezclado

Según la AASHTO (2021) el concreto premezclado es de cemento hidráulico fabricado para su entrega a un comprador en estado plástico y cumpliendo con una serie de especificaciones. El volumen de este concreto

recién mezclado y sin endurecer en un lote, se determina a partir de la masa total del lote dividida por la masa real por metro cúbico de concreto. Por otro lado, la masa total del lote se calcula como la suma de las masas de todos los materiales, incluida el agua, que ingresan al lote o como la masa neta del concreto en el lote, tal como se entrega. Se debe destacar que el volumen de concreto endurecido puede ser menor que el esperado debido a desechos y derrames, sobreexcavación, esparcimiento de formas, alguna pérdida de aire incluido o asentamiento de mezclas húmedas (AASHTO, 2021).

Asimismo, el concreto premezclado es uno de los materiales de construcción más conocidos y versátiles, el cual permite la posibilidad de que sus propiedades sean adecuadas según las necesidades de las diferentes aplicaciones que lo requieran, teniendo en cuenta su resistencia y durabilidad para soportar una amplia variedad de condiciones ambientales. Lo mismo ocurre con las mezclas de concreto, pues son proporcionadas con el fin de obtener las propiedades requeridas para determinada aplicación.

Es importante indicar que deben tener la consistencia o el asentamiento correcto para facilitar la manejabilidad y la colocación, así como una adecuada resistencia y durabilidad para soportar cargas, además de las condiciones ambientales que se anticipan y las condiciones de servicio. Según lo observado dentro del proceso, el concreto se entrega en un camión mezclador o una unidad agitadora, lo cual lo mantiene de forma homogénea hasta que es descargado en el lugar de la colocación (colado).

Es importante destacar que este como tal permanece en estado plástico por varias horas, según el tipo de mezcla y las condiciones durante la colocación, de manera que haya tiempo suficiente para ser vaciado y para darle el acabado.

Asimismo, el concreto premezclado posee características distintas en comparación con el concreto convencional mezclado en obra. Algunas de estas características son:

Se observa una mayor calidad y uniformidad al ser producido en una planta centralizada; se pueden cumplir con exactitud las proporciones y dosificaciones específicas necesarias para obtener la resistencia y durabilidad deseadas. Además, el proceso de dosificación y mezclado se realiza de manera controlada, lo que garantiza una mezcla homogénea y de alta calidad.

Por consiguiente, hay ahorro de tiempo y mano de obra al utilizar concreto premezclado; se reduce el tiempo, el esfuerzo de preparación y mezclado manual en obra. Esto puede significar un ahorro significativo en mano de obra y tiempo total de ejecución de la obra.

Se debe considerar que la reducción de desperdicios y la producción centralizada del concreto premezclado permiten controlar, con mayor precisión, las cantidades de materiales utilizados, lo cual minimiza los desperdicios en obra. Esto no solo es beneficioso desde un punto de vista económico, sino también desde una perspectiva ambiental, ya que se reduce la generación de residuos.

Es decir, existe una mayor seguridad al utilizar concreto premezclado, según corresponda, pues permite una seguridad y consistencia en la calidad del material dentro de la construcción, además de que reduce el riesgo de diversas fallas en construcción para aumentar la seguridad y durabilidad de este.

Existe una mayor resistencia y durabilidad al ser producido mediante condiciones controladas; el concreto premezclado puede lograr una mayor resistencia y durabilidad en comparación con el concreto mezclado en obra. Además, la posibilidad de utilizar aditivos especiales permite mejorar las propiedades del concreto, como su resistencia al desgaste, a la corrosión, entre otros.

1.3 Agregados

Tanto el agregado fino como el grueso constituyen los elementos inertes del concreto, ya que no intervienen en las reacciones químicas entre cemento y agua, (Harmsen, 1997). Además, como menciona Gutierrez de López (2003), los agregados ocupan del 70-80% del volumen del concreto, por tanto, muchas de las características del concreto dependen de las propiedades de los agregados.

Pasquel Carvajal, E. (1998), define los agregados como los elementos inertes del concreto que son aglomerados por la pasta de cemento para formar la estructura resistente.

Los agregados finos y grueso se deben manejar como materiales independientes, además, cada uno de ellos se deberá procesar, transportar, manipular, almacenar y pesar de manera que la pérdida de finos sea mínima, que mantenga su completa uniformidad, se evite la contaminación por sustancias extrañas y no se presente una segregación importante (Crisostomo Madueño, 2018).

Propiedades de los agregados

Existen diferentes propiedades que deben cumplir los agregados, físicas y mecánicas, asimismo propiedades térmicas, morfológicas y más. A continuación, se detallan alguna de ellas:

- Propiedades químicas
- Propiedades mecánicas: densidad, dureza y adherencia.
- Propiedades físicas: granulometría, peso unitario suelto y varillado, peso específico, contenido de humedad y porcentaje de absorción.

Además, Pasquel Carvajal (1998), agrega que la denominación de *inertes* es relativa, porque si bien no intervienen directamente en las reacciones químicas entre el cemento y el agua, para producir el aglomerante o pasta de cemento, sus características afectan notablemente el producto resultante y es, en algunos casos, tan importantes como el cemento para el logro de ciertas propiedades particulares de resistencia, conductibilidad, durabilidad y más. Están constituidos usualmente por partículas minerales de arenisca, granito, basalto, cuarzo o combinaciones de ellos y sus características físicas y químicas tienen influencia en prácticamente todas las propiedades del concreto.

Ortega García, E. (2015), señala que los agregados se clasifican básicamente en dos tipos: agregados gruesos o gravas, y agregados finos o arenas, los que en su conjunto ocupan del 70% al 75% del

volumen de la masa endurecida. La resistencia y economía del concreto es consecuencia directa de la mejor compactación que los agregados pueden tener y es muy importante la granulometría de las partículas.

Como mencionan Guevara Fallas, et al. (2012), es importante la granulometría de los agregados debido a que de ellos dependen las propiedades de los diferentes tipos de concreto, mayor estabilidad volumétrica y resistencia; por eso conviene que los agregados ocupen la mayor masa del concreto, compatible con la trabajabilidad.

1.3.1 Agregado grueso

Los agregados gruesos deben consistir en grava, grava molida, piedra molida, escoria de alto horno enfriada por aire, concreto hidráulico de cemento hidráulico molido, u otro agregado reciclado; además, puede existir una combinación de ellos (ASTM). El agregado grueso por utilizar deberá cumplir con los requisitos presentes en la norma ASTM C33, como la Tabla 1 muestra a continuación:

Tabla 1. Requisitos de graduación para agregados gruesos.

Número de tamaño	Tamaño nominal (tamices con aberturas cuadradas)	Cantidades con una finura mayor a la del tamiz de cada laboratorio (aberturas cuadradas), porcentaje en masa													
		100 mm (4 pulg.)	90 mm (3½ pulg.)	75 mm (3 pulg.)	63 mm (2½ pulg.)	50 mm (2 pulg.)	37,5 mm (1½ pulg.)	25,0 mm (1 pulg.)	19,0 mm (¾ pulg.)	12,5 mm (½ pulg.)	9,5 mm (⅜ pulg.)	4,75 mm (N.º 4)	2,36 mm (N.º 8)	1,18 mm (N.º 16)	300 µm (N.º 50)
1	de 90 a 37,5 mm (de 3½ a 1½ pulg.)	100	de 90 a 100	...	de 25 a 60	...	de 0 a 15	...	de 0 a 5	...	...	...	...	...	...
2	de 63 a 37,5 mm (de 2½ a 1½ pulg.)	...	...	100	de 90 a 100	de 35 a 70	de 0 a 15	...	de 0 a 5	...	...	...	...	...	...
3	de 50 a 25,0 mm (de 2 a 1 pulg.)	...	...	...	100	de 90 a 100	de 35 a 70	de 0 a 15	...	de 0 a 5	...	...	...	...	...
357	de 50 a 4,75 mm (de 2 pulg. a N.º 4)	...	...	...	100	de 95 a 100	...	de 35 a 70	...	de 10 a 30	...	de 0 a 5	...	...	...
4	de 37,5 a 19,0 mm (de 1½ a ¾ pulg.)	...	...	...	...	100	de 90 a 100	de 20 a 55	de 0 a 15	...	de 0 a 5	...	...	...	...
467	de 37,5 a 4,75 mm (de 1½ pulg. a N.º 4)	...	...	...	...	100	de 95 a 100	...	de 35 a 70	...	de 10 a 30	de 0 a 5	...	...	...
5	de 25,0 a 12,5 mm (de 1 a ½ pulg.)	...	...	...	...	...	100	de 90 a 100	de 20 a 55	de 0 a 10	de 0 a 5	...	...	...	...
56	de 25,0 a 9,5 mm (de 1 a ⅜ pulg.)	...	...	...	...	...	100	de 90 a 100	de 40 a 85	de 10 a 40	de 0 a 15	de 0 a 5	...	...	...
57	de 25,0 a 4,75 mm (de 1 pulg. a N.º 4)	...	...	...	...	...	100	de 95 a 100	...	de 25 a 60	...	de 0 a 10	de 0 a 5	...	...
6	de 19,0 a 9,5 mm (de ¾ a ⅜ pulg.)	...	...	...	...	...	...	100	de 90 a 100	de 20 a 55	de 0 a 15	de 0 a 5	...	...	...
67	de 19,0 a 4,75 mm (de ¾ pulg. a N.º 4)	...	...	...	...	...	...	100	de 90 a 100	...	de 20 a 55	de 0 a 10	de 0 a 5	...	...
7	de 12,5 a 4,75 mm (de ½ pulg. a N.º 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	de 90 a 100	de 40 a 70	de 0 a 15	de 0 a 5	...	...
8	de 9,5 a 2,36 mm (de ⅜ pulg. a N.º 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	de 85 a 100	de 10 a 30	de 0 a 10	de 0 a 5	...
89	de 9,5 a 1,18 mm (de ⅜ pulg. a N.º 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	de 90 a 100	de 20 a 55	de 5 a 30	de 0 a 10	de 0 a 5
9 ^A	de 4,75 a 1,18 mm (de N.º 4 a N.º 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	de 85 a 100	de 10 a 40	de 0 a 10	de 0 a 5

^A El agregado con número de tamaño 9 se define en la Terminología C125 como un agregado fino. Se incluye como un agregado grueso cuando se lo combina con un material con número de tamaño 8 para crear un número de tamaño 89, que, según lo definido por la Terminología C125, es un agregado grueso.

Fuente: ASTM

Es preferible que este agregado cuente con una serie de características, para poder no solo mejorar el rendimiento de la mezcla, sino, además, evitar posibles afectaciones. Según Ruiz Pérez (2021) el agregado grueso debe contar con propiedades como perfiles angulares o semiangulares, partículas limpias, duras, compactas, resistentes y con textura rugosa, además, estas partículas deben ser químicamente estables y libre de impurezas como tierra, polvo, limo, humus, materia orgánica sales u otras sustancias dañinas.

Según Gutiérrez de López (2003), las principales características que debe tener un buen agregado grueso son las siguientes:

- Una buena graduación con tamaños intermedios, para evitar la falta de tamaños sucesivos debido a que eso puede producir problemas de segregación.

- Evitar el uso de agregados alargados o planos, ya que genera problemas como bajas masas unitarias, bajas resistencias mecánicas, tendencia a formar bolsas de aire bajo su superficie que luego al fraguarse se convierten en vacíos, lo que disminuye la resistencia del concreto.
- Densidad aparente entre 2.3-2.9 g/cm^3 . Entre mayor es la densidad mejor es su calidad y menor su absorción, el cual se encuentra entre el 1-5%.
- Partículas con superficies angulosas y con superficies rugosa, limpias y sin capas de arcilla, para limitar el contenido de finos entre 1-3%.

Entre las principales funciones que cumple el agregado grueso en la mezcla del concreto es la de aportar una alta resistencia a las acciones mecánicas de desgaste, además de reducir los cambios volumétricos que ocurren en la mezcla en el proceso de fraguado y endurecimiento.

Una de las funciones más importantes que tiene el agregado grueso es mencionada por Gutiérrez de López (2003): en concreto de alta resistencia mientras más alta sea esta, menor deberá ser el tamaño máximo para que la eficiencia sea máxima, por otro lado, en concretos de baja y mediana resistencia, mientras mayor sea el tamaño mayor es la eficiencia. Además, para cada resistencia existe un margen estrecho del valor del tamaño máximo por debajo del cual es necesario aumentar el contenido de cemento.

Se llama eficiencia del concreto a la relación entre la resistencia del concreto y el contenido de cemento (Gutiérrez de López, 2003).

Según la ACI (2002), el tamaño máximo nominal de los agregados debe ser el más grande que esté disponible económicamente y sea consistente con las dimensiones de la estructura, por lo que el tamaño máximo nominal no debe exceder un quinto de la dimensión más estrecha entre los lados del encofrado, ni tampoco un tercio de la profundidad de las losas, ni tres cuartos del espacio libre mínimo entre barras de refuerzo individuales. Cuando la mezcla se debe colocar en áreas con un congestionamiento importante de acero de refuerzo, ductos o conductos de postensado, el dosificador debe seleccionar un tamaño máximo nominal tal que al colocarse a mezcla no se generen vacíos ni segregaciones importantes. Cuando se desea obtener concreto de alta resistencia, se pueden obtener mejores resultados si se utilizan tamaños máximos nominales menores, ya que de esta manera se producen mayores resistencias con una relación agua-cemento determinada (ACI, 2002).

1.3.2 Agregado fino

El agregado fino debe consistir en arena natural, arena fabricada u otro agregado reciclado; además, puede existir una combinación de esas sustancias (ASTM). Es importante destacar que el agregado debe cumplir los requisitos descritos en la norma ASTM C33, entre los cuales se encuentra la tabla 2:

Tabla 2. Requisitos de graduación para agregados finos.

Tamiz (Especificación E11)	Porcentaje que pasa
9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg.)	100
4,75 mm (N.º 4)	de 95 a 100
2,36 mm (N.º 8)	de 80 a 100
1,18 mm (N.º 16)	de 50 a 85
600 μ m (N.º 30)	de 25 a 60
300 μ m (N.º 50)	de 5 a 30
150 μ m (N.º 100)	de 0 a 10
75 μ m (N.º 200)	de 0 a 3,0 ^{A,B}

^A En el caso del hormigón no sujeto a abrasión, el límite para materiales con una fineza mayor a la de un tamiz de 75 μ m (N.º 200) deberá ser de 5,0 % como máximo.

^B En el caso de agregados manufacturados finos u otros agregados reciclados, si el material con una fineza mayor a la del tamiz de 75 μ m (N.º 200) consiste del polvo generado durante el proceso de molienda, esencialmente libre de arcilla o esquistos, este límite deberá ser de 5,0 % para el hormigón sujeto a abrasión y de un 7 % como máximo para el hormigón no sujeto a abrasión.

Fuente: ASTM

De la misma manera en que es preferible que el agregado grueso cuente con características para mejorar su rendimiento, es recomendable que el agregado fino contenga partículas limpias, con perfil angular, compactas y resistentes (Ruiz Pérez, 2021).

Según Gutiérrez de López (2003), las características de un buen agregado fino para concreto son las siguientes:

- Debe estar correctamente graduado para que pueda llenar todos los espacios y producir mezclas más compactas.
- Cuando la colocación es fácil o cuando los acabados se hacen mecánicamente se recomienda que el porcentaje pasando el tamiz de 300 μ m esté más cercano al 10%, por otro lado, si se le dará un uso para pisos y el acabado se realiza a mano o cuando se desea una textura superficial tersa, se deberá utilizar un agregado fino con un porcentaje pasando el tamiz de 300 μ m de mínimo 15% y 3% el tamiz de 0.150 mm.
- Un módulo de finura del agregado fino entre 2.3 y 3.1, para evitar segregación del agregado grueso cuando la arena es muy fina, por otro lado, si la arena es gruesa se tienen mezclas ásperas.
- Evitar que el agregado fino tenga la presencia de materia orgánica debido a que este interrumpe parcial o totalmente el proceso de fraguado. Debe destacarse que, si el agregado presenta un alto contenido de materia orgánica, se debe lavar o elegir otra, dependerá del análisis de costos.
- Por último, respecto de los resultados del agregado sometido al ensayo de los sulfatos las especificaciones son: Si la solución empleada es sulfato de sodio, la pérdida total no deberá ser mayor al 10% y si la solución es sulfato de magnesio, la pérdida total no será mayor del 15%.

Se destaca que, Gutiérrez de López (2003), define el módulo de finura como “un valor que permite estimar el grosos o finura de un material” (p. 18), además, el cálculo para determinar el módulo de fineza es la suma de la masa retenida acumulada de los tamices de 0.150 mm, de 0.300 mm, de 600, de 1.18 mm, de 2.36 mm y de 4.75 mm y se divide entre 100 (ASTM), dicho de otra forma, es un indicador adimensional de la finura o grosor del agregado, el cual es utilizado en la dosificación de este.

El agregado fino a diferencia del agregado grueso no aporta ninguna resistencia significativa a la mezcla, pero esta permite una mayor eficiencia del cemento y de la pasta, debido a que el tamaño de sus partículas rellena los espacios vacíos existentes en la mezcla.

Entre las funciones que cumple el agregado, según menciona Gutiérrez de López (2003), el agregado fino o arena se usa como llenante, además, actúa como lubricante sobre el cual ruedan los agregados gruesos dándole mayor manejabilidad a la mezcla. Por otro lado, una deficiencia de este agregado se refleja en la aspereza de la mezcla y un exceso de este generará que la mezcla demande mayor cantidad de agua para producir un asentamiento determinado y que esta se vuelva más cohesiva, ya que al requerir mayor cantidad de agua se necesita mayor cantidad de cemento para conservar la relación agua/cemento determinada.

1.4 Aditivos

Dentro de este orden se establecen los aditivos en concreto permitiendo ser sustancias que se agregan a la mezcla de concreto para mejorar sus propiedades físicas y además químicas.

Permiten presentar diferentes tipos de aditivos en concreto, cada uno con una función específica y una característica particular.

Los aditivos son sustancias que se agregan a la mezcla del concreto para así modificar las características físicas por un período. Pueden ser considerados desde el diseño de mezcla o pueden agregarse luego de haberse conformado la mezcla, por ejemplo, para aumentar su trabajabilidad. Como menciona la ACI (2010) los aditivos químicos son sustancias principalmente solubles en agua utilizados para mejorar las propiedades del concreto hidráulico o mortero en el plástico y el estado endurecido. Entre sus beneficios se incluyen el aumento de la compresión y resistencias a la flexión en todas las edades, disminución de la contracción, aumento de la trabajabilidad, entre otros.

En relación con la cita anterior, algunos de los aditivos más comunes incluyen los aditivos plastificantes, los aditivos acelerantes de fraguado, los aditivos retardantes de fraguado, los aditivos impermeabilizantes y los aditivos de fibras.

Según la norma ASTM C 49, los aditivos químicos para concreto hidráulico se clasifican en ocho tipos, los cuales son: tipo A (aditivos reductores de agua), tipo B (aditivos retardantes), tipo C (aditivos aceleradores), tipo D (aditivos reductores de agua y retardantes), tipo E (aditivos reductores de agua y

aceleradores), tipo F (aditivos reductores de agua de alto rango), tipo G (aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes) y tipo S (aditivos de desempeño específico).

Es de suma importancia resaltar que los aditivos plastificantes son aquellos que se utilizan para mejorar la trabajabilidad del concreto, es decir, su capacidad de ser mezclado y manejado fácilmente. Estos aditivos reducen la cantidad de agua necesaria para obtener un concreto trabajable, lo que a su vez mejora la resistencia y durabilidad del material.

Por otro lado, los aditivos acelerantes de fraguado se utilizan para acelerar el tiempo de endurecimiento del concreto. Estos aditivos son especialmente útiles en climas fríos o en situaciones donde se requiere un fraguado rápido, como en la construcción de estructuras de concreto prefabricado.

Desde una perspectiva general, los aditivos que se usen en el concreto deben someterse a la aprobación de la supervisión. Cabe demostrar que el aditivo utilizado en obra es capaz de mantener esencialmente la misma composición y comportamiento que el producto usado para establecer la dosificación del concreto.

1.5 Diseño de concreto premezclado

El diseño de mezcla se puede describir como el proceso de selección de los agregados recomendables para el concreto, donde se determinan las cantidades y requerimientos específicos de aspectos como manejabilidad, resistencia y dureza. Además, en la actualidad es necesario que se cumpla con ciertas especificaciones donde existen valores límite respecto a un rango de propiedades, estas son: relación máxima de agua/cemento, contenido mínimo de cemento hidráulico, resistencia mínima, manejabilidad mínima, tamaño máximo del agregado y contenido de aire (Muciño Vélez & Santa Ana Lozana, 2017). En el diseño de mezcla se dosifican las cantidades de los materiales, entre los cuales se encuentran los mencionados en las secciones anteriores, como los agregados y aditivos; además de estos están el agua y el cemento.

Como menciona Muciño Vélez & Santa Ana Lozana (2017) es necesario determinar la cantidad de los agregados, para lograr características específicas como propiedades del concreto fresco, propiedades mecánicas del concreto endurecido y los límites de los agregados específicos. Además, un adecuado cálculo del proporcionamiento del concreto debe generar cualidades como trabajabilidad y cohesión cuando se encuentre en estado fresco; resistencia, durabilidad y apariencia en estado endurecido; de esta misma manera, el concreto debe ser económico.

El ACI establece una secuencia de pasos lógicos y sencillos, en los cuales encajan las características de los materiales disponibles en una mezcla adecuada para el trabajo. Estos pasos son los siguientes: selección del revenimiento, selección del tamaño máximo del agregado, estimación de agua para el mezclado

y contenido de aire, selección de la relación agua/cemento, cálculo del contenido de cemento, estimación del contenido de agregado grueso, estimación del contenido de agregado fino, ajuste por humedad de los agregados y finalmente, ajuste en la mezcla de prueba(ACI, 1991).

Los pasos establecidos por la ACI (2002), se describirán brevemente a continuación:

- Paso 1. Selección del asentamiento: Cuando el asentamiento no es especificado, este se puede determinar por medio del tipo de construcción por realizar, donde la ACI 211.1-91 establece un máximo y un mínimo recomendado, según el tipo de construcción.
- Paso 2. Selección del tamaño máximo del agregado: La ACI establece unas limitaciones que el agregado no debe exceder, estas se encuentran definidas en la sección de Agregado grueso del presente documento. Se debe destacar que en ocasiones estas limitaciones no se aplican si la trabajabilidad y los métodos de compactación del concreto permiten colocarlo sin cavidades ni vacíos.
- Paso 3. Estimación de agua para el mezclado y contenido de aire: La cantidad de agua por unidad de volumen del concreto requerida para producir un determinado asentamiento depende de: el tamaño máximo nominal, la forma de las partículas y la granulometría de los agregados, temperatura de la mezcla, cantidad de aire incorporado y de si se utilizan aditivos químicos. La ACI proporciona unas estimaciones del agua para la mezcla requerida por el concreto; estas estimaciones varían según el tamaño máximo del agregado, además de si tiene aire incorporado o no. Se destaca que, dependiendo de la superficie y forma del agregado, el agua requerida para la mezcla puede estar por encima o por debajo de los valores establecidos por la ACI.
- Paso 4. Selección de la relación agua/cemento: La relación agua/cemento está determinada no solo por los requisitos de resistencia, sino también por factores como la durabilidad, además, dado que existen diferentes agregados, cementos y otros materiales cementantes, las mismas relaciones agua/cementos producen diferentes resistencias. La ACI determinó unos valores aproximados para la relación agua/cemento, según la resistencia a la compresión que se desea obtener, así como si el concreto tendrá aire incorporado o no.
- Paso 5. Cálculo del contenido de cemento: La cantidad de cemento por unidad de volumen de concreto está establecido según las determinaciones de los pasos 3 y 4 anteriores, donde el cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezcla dividido por la relación de agua/cemento. Además, si las especificaciones incluyen un límite mínimo de cemento por utilizar, aparte de los requisitos de resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en el criterio que tenga la mayor cantidad de cemento.
- Paso 6. Estimación del contenido de agregado grueso: La ACI establece unos valores recomendados para el contenido de agregado grueso, donde se puede observar que, para una misma trabajabilidad, la cantidad de agregado grueso depende únicamente del tamaño máximo nominal y del módulo de finura del agregado fino.

- Paso 7. Estimación del contenido del agregado fino: La estimación del contenido del agregado fino se obtiene a partir de diferencias; la ACI estableció dos métodos. En el primero se utiliza la diferencia del peso del concreto fresco y el peso total de los materiales de la mezcla, donde es necesario conocer el peso unitario del concreto, por lo que, si este valor no se conoce, la ACI determinó valores de pesos unitarios que varían según el tamaño máximo nominal. El segundo método es el más exacto para estimar la cantidad de agregado fino. Este se le resta de la unidad de volumen de concreto el volumen total de los otros materiales que conforman la mezcla, de esa manera se obtiene el volumen requerido de agregado fino. Se destaca que, el volumen ocupado en el concreto por cualquier material es el peso del concreto por la densidad de dicho material.
- Paso 8. Ajuste por humedad: Este ajuste se debe realizar debido a que los agregados contienen cierta humedad tanto absorbida como superficial, por lo que esto incrementa la cantidad de agua que contiene la mezcla, además, su peso en estado seco es diferente a su peso en estado húmedo. El agua de la mezcla agregada debe disminuirse en una cantidad igual al agua libre aportada por el agregado.
- Paso 9. Ajuste en la mezcla de prueba: Las proporciones de la mezcla deben verificarse por medio de lotes de los ensayos preparados y analizados de acuerdo con ASTM C192, además, solo se debe usar suficiente agua para producir el asentamiento requerido, independientemente de la cantidad asumida al seleccionar las proporciones de ensayo. Se debe verificar el concreto para determinar el peso unitario, el rendimiento y el contenido de aire. Se debe tomar en consideración la trabajabilidad adecuada, la segregación y las propiedades de acabado. Finalmente, se deben realizar los ajustes apropiados en las proporciones para los lotes posteriores.

1.6 Normas para el análisis al concreto premezclado

En la industria de la construcción algunas de las instituciones o normas más representativas a nivel internacional, son las ASTM (American Society for Testing Materials), AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official Standard) y ACI (American Concrete Institute), y a nivel nacional existe INTECO (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica). Como lo mencionan AL-Saedi *et al* (2019), los ensayos e inspección de productos son los principales aparatos de control de calidad; de esta manera, los ensayos e inspecciones a las materias primas y fabricadas para elaborar el concreto son esenciales, además, la calidad del producto de concreto tiene una influencia directa en la durabilidad y resistencia de las estructuras en la construcción.

Existen herramientas que facilitan la gestión y el control de la calidad como el diagrama de Ishikawa o diagrama de espina de pescado, hojas de verificación, análisis de efecto-solución, entre otras. Andler (2013), citado por Al-Saedi *et al.* (2019), menciona que el diagrama de Ishikawa “es una herramienta utilizada

para ayudar a identificar, explorar y mostrar todas las causas posibles relacionada a un problema, además, descubrir las causas fundamentales y mostrar las dependencias entre las causas y los impulsores subyacentes” (p.4). Por otra parte, PMI (2013) citado por Al-Saedi *et al* (2019), describe que la hoja de verificación “Se utiliza para organizar hechos de una manera que facilite la recopilación efectiva de datos útiles sobre un posible problema de calidad. Son especialmente útiles para recopilar datos de atributos mientras se realizan inspecciones para identificar defectos” (p.4). Finalmente, el análisis de efecto-solución se puede definir como una inversión de la espina de pescado; en esta herramienta se coloca la posible solución dentro de un cuadro al lado izquierdo, luego se traza una línea horizontal hasta la derecha, del cual partirán líneas para mostrar las posibles consecuencias y efectos (Andler, 2013, citado por Al-Saedi *et al*, 2019).

Las normas utilizadas para evaluar el concreto premezclado y su respectivo diseño en planta son las siguientes:

- **ASTM C94** “Standard Specification for Ready-Mixed Concrete”.
INTE C14 “Concreto hidráulico premezclado. Requisitos”
- **ASTM C33** “Standard Specification for Concrete Aggregates”.
INTE C15 “Agregados para Concreto. Requisitos”
- **ASTM C117** “Standard Test Method for Materials finer than 75 μm (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing”
INTE C49 “Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz 75 μm (N°. 200) en agregados minerales. Método de ensayo.”
- **ASTM C136** “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates”.
INTE C46 “Análisis granulométrico en tamices de agregado fino y grueso. Método de ensayo”
- **ASTM C566** “Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying”.
INTE C71 “Determinación del contenido total de humedad evaporable en agregados mediante secado. Método de ensayo.”
- **ASTM C29** “Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate”.
INTE C48 “Método de ensayo para determinar la densidad masiva (peso unitario) y los vacíos en agregados”
- **ASTM C128** “Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption for Fine Aggregate”.
INTE C69 “Construcción. Determinación de la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción del agregado fino. Método de ensayo”
- **INTE C17** “Muestreo de concreto recién mezclado”
ASTM C172 “Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete”
- **INTE C43** “Medición de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado”

- **ASTM C1064** “Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete”
- **INTE C41** “Asentamiento en el concreto del cemento hidráulico. Método de ensayo”.
ASTM C143 “Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete”
- **INTE 72** “Método para determinar la densidad (peso unitario) rendimiento y contenido de aire del concreto por método gravimétrico”
ASTM C138 “Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete”
- **ASTM C470** “Standard Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically”
INTE C122 “Molde para el formado de cilindros verticales de concreto para ensayo. Especificaciones
- **INTE C19** “Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo en el campo”
ASTM C31 “Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field”
- **ASTM C39** “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”.
INTE C39 “Resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos de concreto. Método de ensayo”
- **ASTM C1077** “Standard Practice for Agencies Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Testing Agency Evaluation”.

Se destaca el uso hecho de las normas INTECO debido a que son las provistas por el Departamento de Control de Calidad para la evaluación de los ensayos.

Del listado anterior, son descritas brevemente las normas utilizadas para la evaluación del desempeño del concreto premezclado.

1.6.1 ASTM C94 Standard Specification for Ready-Mixed Concrete”

Es por medio de esta norma que se evaluaron los resultados obtenidos de los ensayos realizadas al concreto premezclado. Según ASTM, los requisitos para la calidad del concreto elaborado deben ser los indicados en esta especificación o los que ordene el comprador, además, en caso de que los requisitos del comprador sean distintos a los de la especificación, tendrán prevalencia los del comprador.

Entre la información que se puede encontrar en este documento están las normas por utilizar para observar las especificaciones de los materiales, tales como cemento, agregado, aditivos, entre otros, además, de las especificaciones para el asentamiento, para el concreto con aire incorporado, mediciones de los materiales, para la planta de concreto, para los mezcladores y agitadores, para la información de la tarjeta de entrega, para las prácticas, métodos de ensayo e informes, para el muestreo y ensayo del concreto fresco, entre otras especificaciones.

Para efectos de este proyecto, las principales especificaciones por considerar son las del asentamiento, la planta de concreto, las prácticas a efectuar según la norma, métodos de ensayo e informes y resistencia de cilindros de concreto.

1.6.2 ASTM C136 “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates”

Este método consiste verter una muestra de agregado seco con una masa conocida, dentro de tamices posicionados según el tamaño de las aberturas. El primer tamiz es el que tenga las aberturas más grandes, y el último, el tamiz con las aberturas más pequeñas; luego se asegura que haya pasado la mayor cantidad de material entre los tamices y de esta forma se determina la cantidad de material por cada uno de los tamices para evaluar si este cumple con los requisitos establecidos. Como menciona ASTM, este método de ensayo se utiliza para la determinación de la graduación de los propuestos para su uso como agregado, así mismo, los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de las partículas con los requisitos correspondientes de la especificación.

1.6.3 ASTM C566 “Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying”

Para el ajuste de las cantidades de los materiales de los lotes de concreto, este método de ensayo es lo suficientemente preciso, pues mide la humedad en la muestra de ensayo con más confiabilidad de lo que es posible lograr que la muestra represente el suministro del agregado. Se debe destacar que en los casos donde el agregado se altera por el calor o se necesita que la medición sea más refinada, dicho ensayo se debe realizar utilizando un horno ventilado de temperatura controlada (ASTM). Este ensayo consiste en someter una muestra de agregado con masa conocida en condición húmeda, a secado en un horno hasta alcanzar una condición seca sin contenido de humedad evaporable en la superficie y en los poros de las partículas.

1.6.4 ASTM C29 “Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate”

Este método de ensayo frecuentemente se utiliza para la determinación de los valores de densidad a granel, los cuales son necesarios para un número importante de métodos de selección de proporciones para mezclas de concreto, así mismo, esta densidad sirve para la obtención de relaciones de masa/volumen para las conversiones necesarias en acuerdos de compra. Debe destacarse que este método tiene algunas

limitaciones como que se desconoce la relación entre el grado de compactación de los agregado en unidades de transporte y aquella que se logra al implementar este método, además, que los agregados en ocasiones contienen humedad absorbida y en la superficie, mientras que por otro lado, este ensayo determina la densidad a granel del material seco (ASTM). Con esta norma es posible calcular el porcentaje de vacíos de aire entre las partículas de agregado; se basa en la densidad a granel.

1.6.5 ASTM C128 “Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption for Fine Aggregate”

La gravedad relativa o gravedad específica es la proporción entre masas de un agregado y la masa de un volumen de agua igual al volumen de las partículas de agregado. La densidad relativa se utiliza para el cálculo de volumen por el agregado en varias mezclas que contienen agregado, además, la densidad relativa se utiliza en el cálculo de los vacíos de aire en agregado, en el cálculo de la humedad superficial en agregados finos, en cálculos cuando el agregado está en estado seco, entre otros (ASTM).

Para la correcta elaboración de este ensayo se debe sumergir en agua aproximadamente por 24 hora, con el objetivo de llenar los poros; luego se retira el agua, acompañado del secado del agua de la superficie de las partículas y se determina la masa. Esta muestra se coloca en un recipiente graduado donde se determina el volumen de la muestra; por último, se seca en el horno y se repite la determinación de la capa.

1.6.6 INTE C43 “Medición de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado”

El presente método permite realizar la medición de temperatura de mezclas de concreto en estado fresco por lo que esta representa la temperatura al momento de realizar el ensayo, pues existe la posibilidad de que en el tiempo posterior la temperatura puede no ser la indicada. Debe destacarse que el dato obtenido de esta norma se puede utilizar para verificar el cumplimiento con especificaciones de la temperatura del concreto (INTECO). Este ensayo se realiza con el objetivo de conocer la temperatura de la mezcla en ese instante, para así determinar si se encuentra dentro de un rango óptimo de temperatura.

Por consiguiente, este ensayo en ocasiones se realiza con el objetivo de conocer si la temperatura está dentro de los parámetros aceptables de los clientes.

1.6.7 INTE C41 “Asentamiento en el concreto del cemento hidráulico. Método de ensayo”

El objetivo de este método de ensayo es, por medio del ensayo de asentamiento, conocer un estimado de la plasticidad y trabajabilidad de la mezcla de concreto. Según INTECO, para realizar este ensayo se debe obtener una muestra de concreto fresco recién mezclado, luego se coloca y se compacta por medio del varillado en un molde con forma de cono truncado; posteriormente, este molde se levanta para que el concreto se desplome y por último, se mide la distancia desplazada de la mezcla con respecto a su posición original, y este se reporta como asentamiento del concreto.

1.6.8 INTE 72 “Método para determinar la densidad (peso unitario) rendimiento y contenido de aire del concreto por método gravimétrico”

Este ensayo se realiza con el objetivo de conocer las propiedades de la mezcla de concreto fresco, de esta manera se logra obtener un valor de la densidad y el rendimiento de la mezcla, así también una estimación del contenido de aire (ASTM). Como menciona INTECO, para la realización de este ensayo se debe obtener una muestra de concreto de la batidora, luego se coloca en un molde con medidas estándar, se procede con la consolidación. Se puede hacer por medio de apisonamiento o vibrado; una vez realizado, se enrasa para eliminar los sobrantes existentes. Con estos valores definidos se calcula la densidad, el rendimiento y contenido de aire.

1.6.9 ASTM C39 “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”

Como menciona ASTM los resultados obtenidos de estos ensayos son utilizados en el control de calidad de las operaciones de proporcionado, mezcla y colocación del concreto, y de esta manera determinar si cumple con las especificaciones; también como control para evaluar la eficiencia de los aditivos en los casos donde se utilicen. La resistencia a la compresión resultante de los cilindros fallados ejemplifica el comportamiento del concreto, y de esta manera, se puede evaluar si cumplirá con los requerimientos deseados.

Para la realización de este ensayo se debe aplicar una carga compresiva axial al cilindro moldeado a una tasa que se encuentre dentro del rango permitido hasta que ocurra la falla, luego se procede a dividir la carga máxima lograda durante el ensayo entre el área de la sección transversal del cilindro, para así obtener la resistencia a la compresión (ASTM).

Finalmente, entre las definiciones que son importantes destacar se encuentre la fase analítica, que de acuerdo con Rodríguez, Gil y García (1996) citado por Meneses (2007), se trata de un "conjunto de manipulaciones, transformaciones, operaciones, reflexiones y comprobaciones realizadas a partir de los datos con el fin de extraer significado relevante en relación con un problema de investigación" (p.7).

1.7 Productividad

Por su parte, la productividad debe abarcar varios aspectos que influyen en la capacidad de producir un mecanismo en las empresas.

La productividad es conocida como la relación existente entre el volumen total de producción y los recursos utilizados para alcanzar dicho nivel de producción, es decir, la razón entre las salidas y las entradas. Medina Fernández de Soto (2010) entiende esta como la manera en que se utilizan los factores de producción durante la elaboración de productos y servicios para satisfacer las necesidades de la sociedad y agrega que es un elemento estratégico en las organizaciones, ya que los productos y los servicios no pueden ser competitivos si no se elaboran con altos estándares de productividad. Por lo general, cuando se habla de productividad se refiere a algún proceso en el cual intervienen elementos y actividades para obtener un resultado; cuando hay mejoras, estas se traducen en el hecho de que, con menos recursos o con los mismos, se pueden obtener los mismos o mayores resultados respectivamente (productos y servicios).

La productividad es el nivel de rendimiento con que se emplean los recursos, la relación entre producción e insumo para crear valor agregado (Heizer & Render, 2009).

Asimismo, según la OIT (2007), la productividad estudiada desde la eficacia es un concepto erróneo y debe complementarse con el concepto de eficiencia; no conviene centrarse solo en datos de productividad, hay que ser eficientes al mismo tiempo, saber lo que se debe hacer. Además, puede orientarse a la consecución de una serie de objetivos mediante la toma de ciertas acciones y el uso de factores como el tiempo y los recursos. Para conseguir esto, es necesario llevar a cabo una buena gestión del negocio combinada con las técnicas más apropiadas, para de esta forma, alcanzar la sostenibilidad y viabilidad del futuro de la empresa. Se destaca que, la empresa determina la productividad con base en tres indicadores, los cuales son la calidad del producto que es el concreto premezclado, la entrega del volumen solicitado por el cliente y la disminución de los tiempos no contributivos.

Esta como tal, expresa relación entre los recursos utilizados y los resultados obtenidos, tomando en cuenta los factores que identifican y analizan los aspectos que afectan la productividad propiamente. Asimismo, puede incluir aspectos como la eficiencia de los procesos, la calidad del trabajo, el nivel de competencia y habilidades de los empleados, la tecnología utilizada, la motivación y satisfacción laboral, el liderazgo y la cultura organizacional.

En la actualidad, una de las más utilizadas es la filosofía Lean Construction o Construcción sin pérdidas, que trata de disminuir las pérdidas al poner en práctica principios como la capacitación del personal, la reducción del inventario y la mejora de la productividad (Pérez Gómez Martínez, Del Toro Botello, López Montelongo, 2019, p.3). Como menciona Golzarpoor, González, Shahbazpour & O'Sullivan (2014) citado por Li, Fang & Wu (2020), el concepto de Lean Construction en un inicio se centró en eliminar los residuos de producción durante el proceso de construcción, mientras que los residuos medioambientales no se consideraban con tanta frecuencia, sin embargo, a medida que este concepto empezó a evolucionar, se

consideró que los residuos de producción generados durante el proceso de construcción, estaban relacionados con los residuos ambientales. Lo mencionado anteriormente deja en evidencia que la filosofía Lean Construction, conforme ha aumentado su uso en la actualidad, así también ha tenido cambios en sus características, tanto por adaptarse a los requerimientos modernos, como para generar los mayores beneficios y disminuir la mayor cantidad de pérdidas en los procesos de construcción.

En el presente proyecto, se hizo uso del concepto *carta de balance* para la medición de los tiempos del proceso de cargado de los camiones mezcladores. La carta de balance tiene como objetivo observar si el personal está equilibrado de acuerdo con el método utilizado. Se debe destacar que por medio de esta herramienta no es posible determinar la eficiencia del personal ni se genera que trabajen más, sino, hace que lo hagan de forma más inteligente (Rodríguez Romero, 2018 citado por Pérez Gómez Martínez *et al*, 2019). También, mencionan Castillo Muñoz & Flores Ccahuana (2016) citados por Pérez Gómez Martínez *et al* (2019) que “La Carta de Balance es un gráfico que, a partir de información estadística tomada en campo, define detalladamente una actividad para optimizarla. En este instrumento se miden tiempos cortos, como se utilizan los recursos ocupados en esa tarea” (p.4).

Esta herramienta es utilizada generalmente para procesos y tareas en la construcción, por lo que se adaptada a lo requerido en el presente proyecto, lo cual es la medición de los tipos de trabajos, “Las actividades son catalogadas en tres tipos; Trabajo Productivo (TP), Trabajo Contributivo (TC) y Trabajo No Contributivo (TNC)” (Pérez Gómez Martínez, 2019, p.5).

Se hace uso de las herramientas diagrama de recorrido y *Value Stream Mapping*, las cuales se utilizan para una representación más adecuada del proceso, además, como un apoyo para el análisis de productividad. Según menciona Sanchis Gisbert (2020), el diagrama de recorrido es un “Plano bidimensional o tridimensional de la planta industrial o del área de trabajo donde se representan los desplazamientos de los trabajadores, materias primas, productos terminados, productos semielaborados, de materiales, en general, o de máquinas y/o equipos” (p. 6). En este proyecto se utiliza el diagrama de recorrido para presentar en un plano bidimensional la planta de concreto premezclado, así también, el desplazamiento de los trabajadores, las materias primas como los agregados, cemento, agua y aditivos, los equipos y la posición del camión al momento de cargarse y realizarse la mezcla. Por otra parte, la herramienta *Value Stream Mapping*, destaca por ser “un método útil, efectivo y adaptable para rediseñar sistemas de producción con diferentes líneas de flujo” (Serrano, Ochoa, & De Castro, 2008, citado por Batwara, Sharma, Makkar & Giallanza, 2023). Además, esta herramienta se puede utilizar como un método para la evaluación de un proceso y de esta manera, poder encontrar formas en las cuales el proceso se aceleraría; también para reducir costos, disminuir tiempos y lograr una reducción importante del impacto en el medio ambiente (Lorenzon dos Santos, Giglio, Helleno & Campos, 2019, citado por Batwara *et al*, 2023).

1.8 Propuestas de mejora

Se ha verificado que las propuestas de mejora, como tal, buscan presentar ideas que permitan establecer recomendaciones para el bienestar de la empresa, con el único fin de identificar y analizar enfoques efectivos y estrategias para mejorar la eficacia dentro del proceso.

Chase, Aquilano & Jacobs (2000), mencionan que el *mejoramiento continuo*, es una filosofía gerencial que asume el reto del mejoramiento de un producto, proceso y organización, como un proceso de nunca acabar, donde se van consiguiendo pequeñas victorias.

Es una parte integral de un sistema gerencial de calidad total. Específicamente, esta filosofía busca un mejoramiento continuo mediante la aplicación de sugerencias e ideas aportadas por los miembros de un equipo de trabajo.

Desde una perspectiva general, implica tanto la implantación de un sistema como también el aprendizaje continuo de la organización, el seguimiento de una historia de la gestión y la participación activa de todo el personal. En efecto, las empresas no pueden dar la ventaja de no utilizar plenamente la capacidad intelectual, creativa y la experiencia de todo su personal.

Para Puga & Rodríguez (2012), en la flota petrolera en donde se desarrolla el trabajo el objetivo principal es implementar y aplicar los indicadores de gestión en cada uno de los procesos, con el fin de evaluar el grado de desempeño, cumplimiento y nivel de satisfacción obtenidos como consecuencia del mejoramiento de procesos. Revelan también que el indicador de gestión debe ser medible y cuantificable; además, los indicadores de gestión son uno de los agentes determinantes para que todo proceso de producción se lleve a cabo con eficiencia y eficacia; tal es la ventaja de un indicador de gestión.

Entre las definiciones que se pueden destacar se encuentra la investigación documental, la cual en el estudio de Vásquez Martínez & Castañeda Rico (2018) se define como parte esencial de un proceso de investigación científica, constituida en una estrategia donde se observa y reflexiona sistemáticamente sobre realidades (teóricas o no) usando para ello diferentes tipos de documentos. Indaga, interpreta, presenta datos e informaciones sobre un tema determinado de cualquier ciencia, utilizando para ello una metodología de análisis; con la finalidad obtener resultados que pudiesen ser base para el desarrollo de la creación científica (p.3).

Capítulo 2: Metodología

En el presente capítulo se describen las características y metodología utilizadas en el desarrollo de este proyecto, así como las técnicas e instrumentos aplicados a los sujetos dentro del contexto de recopilación de información, el procesamiento y análisis de esta.

Por consiguiente, se da el seguimiento a las fases con sus respectivos fundamentos teóricos y análisis crítico.

Enfoque mixto

Se observa que este proyecto se encuentra sustentado dentro de los paradigmas cuantitativo y cualitativo; es decir, un “enfoque de carácter mixto”, en su modelo de dos etapas; el cual recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio en diferentes momentos determinados; asimismo, en una serie de investigaciones para responder a un planteamiento según los objetivos propuestos, de manera que se pueda cumplir con los estándares establecidos. Se determina que el proyecto es de enfoque mixto debido a que el objetivo 1 y el objetivo 3 contienen datos de carácter cualitativo, esto debido a que el primero se basa en el análisis del cumplimiento de normas, específicamente del muestreo, procedimiento de las muestras, mientras que el siguiente, en el planteamiento de medidas de mejora aplicables a las principales deficiencias y aspectos que se pueden optimar en términos de tiempos de productividad, calidad y correcto volumen de entrega, por otra parte, el objetivo 2 contiene datos que son predominantemente de carácter cuantitativo, esto a debido a que en este se realizan las mediciones de tiempos de productividad.

Según Cresswell, (2009) citado por Hernández, Fernández, Baptista (2010): "La investigación hoy en día necesita de un trabajo multidisciplinario. refuerza la necesidad de usar diseños multimodales" (p.549).

Se verifica actualmente que a través de los estudios mixtos se logra una perspectiva más amplia y profunda del fenómeno; la investigación se sustenta en las fortalezas de cada método (cuantitativo y cualitativo) y no en sus debilidades, para formular el planteamiento del problema con mayor claridad y poner en práctica las maneras más apropiadas para estudiar y teorizar los problemas de investigación.

Se debe indicar que este enfoque se fundamenta en la triangulación de métodos. Representa el más alto grado de integración o combinación entre los enfoques cualitativo y cuantitativo. Es decir, ambos se entremezclan en todo el proceso de investigación, o al menos, en la mayoría de sus etapas.

La identificación del enfoque al cual está dirigido el proyecto es de gran relevancia, debido a que es quien direcciona la investigación, además, marca los pasos por seguir; por medio de este se establece la

forma en que se realiza el proyecto, tanto en la teoría como en la ejecución. Es decir, es necesario pues se debe establecer el enfoque para generar resultados ante la investigación realizada, a fin de identificar posibles soluciones, así como analizarla y comprenderla.

En relación con la idea anterior y para efecto de esta práctica profesional, la investigación se realiza en la empresa Concrepal, organización reconocida dentro del mercado de construcción por ofrecer a nivel nacional una gran variedad de productos derivados del concreto, donde se integran varios procesos de producción que se clasifican en diferentes categorías como: industria de prefabricados de concreto, extracción y tributación de agregados, concreto premezclado y construcción.

Es posible, por tanto, combinar métodos y aumentar no solo la posibilidad de ampliar las dimensiones de la práctica como tal, sino que el entendimiento es mayor y más eficaz, ya que permite potenciar la creatividad teórica con suficientes procedimientos críticos de valoración.

Observación Participante

Todos los fenómenos y sucesos que ocurren en un lugar o escenario son objeto de observación. Dentro de esta perspectiva la presencialidad y manejo de datos dentro de la planta de producción, se ha podido realizar un proceso de observación y análisis de datos, para lo cual ha sido necesario ser parte del grupo y organización encargada de la producción; además de conocer los procesos que ocurren para la correcta producción del concreto premezclado, desde los ensayos a materiales como los agregados, hasta la carga y mezcla del producto. Para realizar este proceso de observación, fue necesario solicitar los permisos correspondientes con la gerencia de la empresa para ingresar a la planta de producción de concreto premezclado, en donde se cumplió con un horario laboral establecido para observar el proceso de elaboración de concreto premezclado, los ensayos aplicadas a las muestras de concreto premezclado en planta, los ensayos aplicadas a los agregados en el laboratorio y el funcionamiento rutinario de la planta.

Registro de Hechos

La revisión documental resulta de mucho interés, además, es importante para hallar algún trabajo escrito sobre una investigación. A la hora de iniciar un diagnóstico, la revisión de documentos permite saber sobre trabajos escritos realizados anteriormente, posibilita conocimientos para identificar el objeto medular dentro del proyecto y en general, genera conocimiento relacionado con el tema de análisis. Es muy importante que, a través de la información que se genere y recopile, se pueda tener bases sólidas de conocimiento de todo el contexto de la investigación, motivo por el cual la revisión documental puede considerarse como un método o herramienta de gran ayuda. Para efectuar lo mencionado anteriormente, se recolectó evidencias fotográficas, la cual se puede observar en el capítulo de anexos y en el capítulo de apéndices, asimismo,

registraron datos de manera digital en archivos en el dispositivo de trabajo, como el cumplimiento o incumplimiento de las normas en los cuadros resumen en el capítulo de resultados, además, de la medición de los tiempos de los trabajos de productividad.

2.1 Control de calidad del concreto premezclado

En esta primera etapa, que corresponde al primer objetivo específico del proyecto, se establece la realización de un control de calidad al concreto premezclado. Este control de calidad se hace con base en normas técnicas estandarizadas, tanto las nacionales como las normas INTECO, en el ámbito internacional, integradas por normas ASTM, ACI y AASHTO. Se pretende comprobar el cumplimiento de las normas involucradas en el proceso de producción del concreto premezclado, tanto de los componentes del concreto, como la mezcla en estado fresco y endurecido. Por eso se determinan las normas por utilizar, para la respectiva evaluación en los procesos de producción de concreto premezclado.

Cabe destacar que, es importante que la normativa técnica a utilizar debe ser la vigente.

2.1.1 Categoría Fase de campo

En la fase de campo se desarrolla la investigación, propiamente; se realiza el trabajo investigativo o de campo definido con los objetivos y problemas escogidos para el proyecto en cuestión. En otras palabras, la fase de campo se conforma por el cuerpo y desarrollo de la investigación, donde se actúa con el fin de resolver, descubrir o encontrar los resultados del proyecto para ser analizados.

Como herramienta central para la fase de campo, de este se utilizó como instrumento principal las normas técnicas mencionadas dentro del documento, para indagar y recopilar datos e información dentro de la planta.

2.1.1.1 Subcategoría Fase analítica

Esta fase, como tal, se inicia dentro del trabajo de campo, porque la necesidad de contar con una investigación con datos suficientes y adecuados sobre las tareas de análisis se inician durante el trabajo de campo.

Con base en lo mencionado anteriormente, se establece esta subcategoría, debido a que, en campo, específicamente en la planta de producción y en el laboratorio de control de calidad, se comparan los

procedimientos realizados por el personal contra lo establecido en las normas correspondientes, además observar y comprender el funcionamiento general de la planta, desde la obtención de materia prima hasta la entrega y despacho de los camiones mezcladores.

2.1.1.2 Subcategoría funcionamiento del programa

El programa trabaja con el objetivo de brindar un acompañamiento que permita asegurar que la empresa logre alcanzar con los estándares establecidos, los cuales son el brindar al mercado de la construcción los más altos estándares de calidad en sus productos y servicios, con la debida armonía con el medio ambiente, además de liderar los mercados meta en los aspectos de innovación, producción y comercialización de productos derivados de concreto (Concrepal, 2021); es por esto, que se busca mejorar el control de calidad establecido y efectuado por la empresa, asimismo, como el proceso de elaboración de concreto premezclado, por medio de las medidas de mejoras establecidas para las principales deficiencias encontradas que podrían afectar los estándares de la empresa.

2.1.2 Verificación del desempeño del concreto premezclado hidráulico producido.

Los sujetos de información para este objetivo son muestras de agregados, muestras de concreto premezclado y los cilindros de concreto.

El sujeto de información de los agregados son representaciones de agregado grueso y fino, los cuales se utilizan para determinar condiciones o características de estos, como humedad, granulometría y absorción. Estas muestras de agregados se obtienen según lo indica norma, así mismo, la cantidad de muestra que se necesita, debido a que, en algunos casos, puede variar porque depende de la norma o ensayo por realizar. De acuerdo con la norma ASTM C29, la muestra de agregado fino requerido es de 0.0028 m^3 (2.8 litros) y de agregado grueso es de 0.0093 m^3 (9.3 litros); por otra parte, las normas ASTM C117 y ASTM C136 establecen como tamaño de muestra mínimo del agregado fino, 300 gramos, mientras que esta última norma mencionada establece para el agregado grueso un tamaño de muestra mínimo de 5 kilogramos; esto, de acuerdo con el tamaño nominal máximo. Continuando con el mínimo de tamaños de muestras, la norma ASTM C128 establece para el agregado fino una muestra de 500 gramos, y finalmente, la norma ASTM C566, establece para el agregado fino una muestra no menor a 500 gramos y para el agregado grueso una muestra de 3 kilogramos. Se debe destacar que el laboratorio de la empresa donde se realizó el proyecto utiliza muestras de 2.6 kilogramos para el ensayo de la norma ASTM C136 y muestras de 0.5 kilogramos el ensayo de la norma ASTM C566.

Por otra parte, los sujetos de información para el concreto en estado fresco son las muestras de concreto premezclado, estos son volúmenes de concreto que se obtienen de las mezcladoras, luego de que el proceso de producción haya concluido. Estas muestras son utilizadas para conocer características del concreto premezclado, como su temperatura, plasticidad y peso unitario. Las muestras de concreto premezclado por considerar, son todas aquellas que se descargan en el carretillo a cargo del personal de control de calidad, además, que cumple con lo indicado en la norma INTE C17, la cual regula el muestreo del concreto premezclado. De acuerdo con la norma INTE C72, para el ensayo de determinación de peso unitario se debe utilizar un recipiente con una capacidad mínima de 6 litros; por otra parte, la norma INTE C17 establece que para los ensayos de resistencia se requiere un volumen mínimo de 28 litros, y para ensayos como temperatura y asentamiento se permiten volúmenes menores.

Por último, el sujeto de información para el concreto endurecido son los especímenes para la evaluación de falla de resistencia a la compresión realizadas en el proyecto, los cuales fueron verificados según la norma INTE C19, que corresponde a cilindros de 100 mm por 200 mm.

Se detalla el tamaño de la población de los sujetos: los cilindros de concreto que se conformaron y fallaron en el periodo comprendido entre el 27 de julio y el 4 de octubre; debido a que fue el tiempo establecido para que el estudiante estuviera en la planta de producción de concreto premezclado en la empresa; además, para el acceso a las muestras de concreto en estado fresco y agregados dentro de este periodo, excluyendo los días en que el estudiante responsable de la práctica no asista a la planta. Para efectos del presente proyecto, los cilindros por considerar como sujetos son aquellos que se preparan en pares para realizar el ensayo a 28 días, debido a la necesidad de que sean mínimo dos cilindros de mismo lote de muestra, para el análisis estadístico, asimismo, son los que la empresa puede brindar para dicho análisis.

Cada sujeto se evaluó según la norma técnica que corresponda, de ello dependen los instrumentos y el objetivo de cada muestra. Las muestras de concreto premezclado se evalúan en la planta de producción de concreto premezclado, a diferencia de las muestras de agregados y cilindros que se evalúan en el laboratorio de control de calidad de la empresa.

Para este objetivo, las principales fuentes de información son las normas anteriormente descritas en la sección de normas para evaluar el concreto premezclado, así mismo, las cuales también se mencionan en esta sección.

La técnica que se utilizó para recolectar información es la observación, así mismo, los instrumentos en los cuales se basó la observación son las normas técnicas existentes. Las principales actividades de observación se realizan en la planta de concreto premezclado cuando se evalúa el concreto fresco esto por medio de los ensayos descritas en el documento donde se compara el control de calidad efectuado por la empresa con el especificado en las normas correspondientes, de esta misma manera, se realiza la evaluación del control de calidad efectuado en el laboratorio donde se analizan las muestras de agregado, así como los cilindros de concreto endurecido. Se debe destacar que en el laboratorio también se realizan ensayos al

concreto fresco, sin embargo, con una frecuencia muy baja, además de ser ensayo específicos para determinar alguna característica o condición de los materiales que conforman la mezcla.

A continuación, se indican las normas por utilizar como instrumentos para los cilindros de concreto endurecido:

- **ASTM C94** "Standard Specification for Ready-Mixed Concrete".
INTE C14 "Concreto hidráulico premezclado. Requisitos"
- **ASTM C470** "Standard Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically"
INTE C122 "Molde para el formado de cilindros verticales de concreto para ensayo. Especificaciones"
- **INTE C19** "Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo en el campo"
ASTM C31 "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field"
- **ASTM C39** "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens".
INTE C39 "Resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos de concreto. Método de ensayo"

Normas por utilizar como instrumentos para las muestras de concreto premezclado:

- **ASTM C94** "Standard Specification for Ready-Mixed Concrete".
INTE C14 "Concreto hidráulico premezclado. Requisitos"
- **INTE C17** "Muestreo de concreto recién mezclado"
ASTM C172 "Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete"
- **INTE C43** "Medición de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado"
ASTM C1064 "Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete"
- **INTE C41** "Asentamiento en el concreto del cemento hidráulico. Método de ensayo".
ASTM C143 "Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete"
- **INTE C72** "Método para determinar la densidad (peso unitario) rendimiento y contenido de aire del concreto por método gravimétrico"
ASTM C138 "Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete"
- **ASTM C1077** "Standard Practice for Agencies Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Testing Agency Evaluation".

Normas por utilizar como instrumentos para las muestras de agregado:

- **ASTM C33** "Standard Specification for Concrete Aggregates".
INTE C15 "Agregados para Concreto. Requisitos"

- **ASTM C117** “Standard Test Method for Materials finer than 75 μm (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing”
INTE C49 “Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz 75 μm (N°. 200) en agregados minerales. Método de ensayo.”
- **ASTM C136** “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates”.
INTE C46 “Análisis granulométrico en tamices de agregado fino y grueso. Método de ensayo”
- **ASTM C566** “Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying”.
INTE C71 “Determinación del contenido total de humedad evaporable en agregados mediante secado. Método de ensayo.”
- **ASTM C29** “Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate”.
INTE C48 “Método de ensayo para determinar la densidad masiva (peso unitario) y los vacíos en agregados”
- **ASTM C128** “Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption for Fine Aggregate”.
- **ASTM C1077** “Standard Practice for Agencies Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Testing Agency Evaluation”.

Cada norma indica los equipos necesarios para la correcta realización de los ensayos, así como el procedimiento por seguir; entre los equipos más utilizados se destacan: el cono truncado, la varilla de compactación, balanza, máquina de ensayos para los cilindros de concreto, contenedor, tamices, horno, entre otros. Cada una indica que parte de este equipo se comprobó manualmente, además, cada uno de estos tiene la debida certificación que cumple con las especificaciones de su respectiva norma. Del mismo modo, en el marco teórico se menciona el procedimiento general de la mayor parte de los ensayos por realizar. Para el análisis estadístico de los datos se hizo uso de los cálculos estadísticos indicados por cada norma, lo que da como resultado un análisis más enfocado, según lo establecido por cada norma y ensayo.

Los datos que se obtengan de las técnicas descritas anteriormente se presentan principalmente en cuadros, tablas, figuras, descripciones y finalmente resúmenes, debido al tipo de información que se recolecta y de acuerdo con lo que corresponda. Asimismo, en cuadros y tablas se presentan los datos de los ensayos realizadas a los cilindros, concreto premezclado y agregados, utilizando descripciones y resúmenes donde demuestran el resultado del cumplimiento de las normas técnicas; por medio de figuras se evidencian las observaciones realizadas en la planta de concreto premezclado y laboratorio.

Para el alcance de este objetivo se determina analizar la manera en que se realizan y ejecutan los ensayos mencionados anteriormente; de esta forma se asegura comprobar el cumplimiento con lo establecido en las normas, así como la confiabilidad de los resultados. Una vez que se verifiquen los resultados de los ensayos, se determina si el desempeño del concreto premezclado obtenido es el adecuado. Del mismo modo, respecto de los materiales utilizados en la mezcla, como los agregados, se comprueba si cumplen con los

requerimientos de las normas; finalmente, por medio de ensayos en laboratorio, como el asentamiento del concreto en estado fresco y la determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto, se observa si el comportamiento de los aditivos utilizados en la mezcla del concreto premezclado es el esperado. Los productos por presentar en este objetivo son una matriz de comparación de la información obtenida en los ensayos observados y un informe detallado con los resultados obtenidos del análisis al desempeño del concreto premezclado y de los ensayos.

2.2 Productividad de la planta productora de concreto premezclado

2.2.1 Categoría Productividad de tiempo

La categoría de utilidad de tiempo en las áreas de trabajo se refiere a la eficiencia y productividad en la gestión del tiempo en diferentes ámbitos laborales. Esta categoría implica identificar formas efectivas de organizar tareas, establecer prioridades, optimizar el tiempo y minimizar las interrupciones o distracciones que puedan afectar la productividad.

Los resultados obtenidos por una empresas deben ser medidos a partir de indicadores que reflejen aspectos tales como: rentabilidad, eficiencia, eficacia, productividad, entre otros; que permita medir su nivel de competitividad nacional e internacional y retroalimentar la gestión de sus procesos a fin de que la economía crezca y sea capaz de sostener una mejor calidad de vida (Sira, 2011).

Con base en la definición de productividad presente en el marco teórico, se destaca que las empresas disponen de recursos con los que crea el producto deseado y determinan la productividad: terreno, edificios, materiales, energía, máquina, equipo y factor humano.

La categoría de utilidad de tiempo en las áreas de trabajo busca maximizar la eficiencia individual y colectiva, para un mejor aprovechamiento del tiempo y una mayor productividad en las tareas y proyectos laborales.

2.2.1.1 Subcategoría Calidad de procesos constructivos

Es un concepto basado en la percepción, ya que no se puede sentir. Según Besterfield (2009), cuando se habla de calidad se suele imaginar un excelente producto o servicio que cumple con las expectativas de uso y el precio de venta.

Cuando se realiza una inspección estructural a los procesos constructivos es idóneo que sea de calidad en donde se pueda asegurar que se cumplió con los requisitos solicitados en planos y especificaciones del diseño estructural.

Para medir la calidad de un producto o servicio se hace útil utilizar las nueve dimensiones establecidas por Besterfield (2009) que corresponden a: desempeño, propiedades, conformidad, confiabilidad, durabilidad, servicio, respuesta, estética y reputación; sin embargo, el autor afirma que dichas dimensiones son independientes y no todas son aplicables a un producto determinado, por lo cual se hace útil establecer previamente cuáles lo caracterizan mejor.

Considerando lo mencionado anteriormente, la calidad del proceso productivo se puede ver reflejada de acuerdo con los tipos de trabajo: productivo, contributivo y no productivo, donde estos se distinguen según las características correspondientes, los cuales son parte de los indicadores de productividad de la planta.

2.2.2 Analizar la productividad de la planta de concreto premezclado

En este objetivo, el sujeto de información por analizar son los tiempos que se tardan en preparar el concreto premezclado en los camiones mezcladores, esto desde el momento en que el tanque de mezcla empieza a girar, hasta que el personal de control de calidad indica que el concreto está listo para salir de planta. Como se mencionó, el sitio de estudio es la planta de concreto premezclado, específicamente en el cuarto de control donde se encuentra el operador de la planta. Este tiempo de carga de los camiones mezcladores se compone principalmente del tiempo que transcurre en agregar al tanque mezclador todos los materiales que conforman la mezcla, los cuales son: piedra (piedra cuarta o piedra quinta), arena, agua, cemento y los aditivos correspondientes; además del tiempo que se tarda en llenar las tolvas de los materiales, las esperas para la correcta mezcla de los materiales y por último, la inspección del personal de control de calidad. La población del sujeto se limitará únicamente a los días en que se realizan los conteos de los tiempos, según el tipo de trabajo (trabajo productivo, trabajo contributivo y trabajo no contributivo). Para efectos de este proyecto, se definió como trabajo productivo la acción de cargado de materiales al tanque de mezcla; trabajos contributivos los trabajos de cargado de tolvas, espera de mezclado de los materiales, inspección de calidad e indicaciones y trabajos no contributivos, los tiempos de conversaciones, esperas innecesarias y errores o fallas. Los días en que se realizaron los conteos son los días lunes y jueves, dentro del período del 27 de julio al 4 de octubre.

El instrumento utilizado para medir estos tiempos de productividad son los mismos para toda la población; se describirán a continuación.

Las fuentes de información para realizar este objetivo serán principalmente las mediciones efectuadas en la planta de producción, para la recolección de datos; por su parte, para el respectivo análisis

de los resultados del conteo de los tiempos de productividad, se buscará apoyo en investigaciones de artículos, libros y documentos con una alta confiabilidad, para un adecuado estudio de los resultados.

La técnica que se utilizó para la recolección de los datos de conteo de tiempos es la observación. Desde la planta de producción se observó y se contó, por medio de un cronometro digital, los tiempos de producción cuando se están cargando los camiones mezcladores; estos, una vez finalizada la carga, se apuntaron en la hoja de Excel previamente elaborada, que realiza los cálculos inmediatos para determinar qué porcentaje del tiempo total equivale cada categoría de trabajo. La medición se efectuó de la siguiente manera: una vez el tanque del camión mezclador gire a la velocidad adecuada se empieza a contar el tiempo, el cronómetro se detiene únicamente cuando se está cargando el tanque con los materiales; esto porque el operador de la planta anota la hora de inicio y la hora de finalización de cada carga, por lo que simplemente, al tiempo que tarda la carga se le resta el tiempo de trabajo contributivo y no contributivo y se obtiene el tiempo productivo. Por otro lado, la opción de “marcas” o “vueltas” del cronómetro permite registrar el tiempo de cada actividad de los trabajos contributivos y no contributivos. Se destaca que cada carga se diferencia según el tamaño, que podría ser de $6 m^3$ o $7 m^3$, además del diseño de mezcla del concreto.

Además, esta técnica se utilizó para observar el proceso de producción de concreto premezclado, desde el pesaje y cargado de los materiales en las tolvas, hasta el despacho de los camiones, esto para describir por medio de *diagramas de recorrido* y de *value string mapping* y para determinar las actividades críticas de dicho proceso.

El instrumento utilizado se constituye por tablas dentro de las hojas de Excel, con espacios para colocar las actividades realizadas en el procesamiento del concreto premezclado en el tanque del camión, así como los tiempos aproximados de duración y el tipo de trabajo, los cuales son: trabajo productivo, trabajo contributivo y trabajo no contributivo. De esta manera el estudiante, mediante la observación de la conformación de la mezcla de concreto, describe en las tablas los tiempos de cada una de las actividades.

Tabla 3. Ejemplo de las tablas por utilizar en el conteo de los tiempos de productividad.

Tiempos						Contributivo				No productivo	
Productivo	%	Contributivo	%	No productivo	%	Carga de tolvas y apunte de datos	Inspección	Indicaciones	Esperas	Errores o fallas	Hablar
00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	0%	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00

Los resultados obtenidos de los conteos y trabajos de productividad se presentan por medio de tablas, gráficos y descripciones principalmente. En las tablas se muestran los resultados obtenidos directamente, donde se puede observar los tiempos contados, así como los tipos de trabajo; por otra parte, en los gráficos se representan, de forma resumida, la información contenida en las tablas, en este se muestra un gráfico circular con el porcentaje que representa cada tipo de trabajo con respecto al tiempo total de carga, mientras que en la gráfica de columna se observa el desglose de cada tipo de trabajo según la acción realizada, y finalmente, cada uno de los resultados se describe para una mayor comprensión. Como se mencionó en el marco teórico, esta herramienta de *carta de balance* es utilizada para identificar las causas por las cuales un proceso es más o menos productivo, por lo tanto, no es posible determinar la eficiencia ni del proceso ni de personal, por lo que no es necesaria la realización de un análisis estadístico.

Entre las actividades descritas para este objetivo se encuentra la determinación del proceso de producción de concreto premezclado en planta, donde se identificaron las actividades críticas, y encontrar posibles opciones y medidas de mejora, luego se realizó el conteo manual de los tiempos de productividad de la planta, el cual se describió anteriormente, por medio del instrumento de medición que mejor se adapte a la planta; en este caso se realizó por medio de las tablas mencionadas y descritas. Finalmente, se establece el análisis de productividad de la planta por medio de los resultados obtenidos en el conteo manual, además de actividades realizadas en el objetivo anterior como el control de calidad y los volumen de concreto entregado al cliente según lo solicitado, este análisis se hizo con la ayuda de las técnicas *diagrama de recorrido* y *Value Stream Mapping* para una mejor visualización del proceso de cargado y mezclado y su respectivo análisis.

2.3 Propuestas de mejora de la planta de concreto premezclado

2.3.1 Investigación teórica

Esta investigación se apoya en la recopilación de antecedentes a través de documentos, donde el investigador fundamenta y complementa su investigación.

La fundamentación teórica enfocada en la investigación es un proceso sistemático y riguroso de indagación y análisis que tiene como enfoque obtener nuevos conocimientos, resolver problemas o validar teorías existentes. Es decir, se sustenta por medio de un aspecto fundamental en diversos campos del conocimiento, incluyendo la ciencia y la tecnología con base en estas áreas.

La investigación estimula el pensamiento crítico, la creatividad y es a través de ella, que el proceso de aprendizaje se vitaliza y se combate la memorización que tanto ha contribuido a formar profesionales pasivos, pocos amantes de la innovación, con escasa curiosidad e iniciativa personal (Ruiz Ramírez ,2010).

Según la cita anterior, se puede decir que la investigación es un proceso organizado, donde es fundamental la búsqueda de conocimientos válidos y confiables sobre hechos y fenómenos del hombre y del universo.

Por medio de esta herramienta se da la oportunidad de implementar y sustentar conceptos, teorías e informes que respalden dicho contenido. Se debe indicar que se obtiene dicha información como un patrón según el procedimiento sistemático, controlado y crítico que permite descubrir nuevos hechos o datos, metodológicos y técnicos, para permitir emplear relaciones o leyes, con base en el campo de construcción.

En relación con lo descrito anteriormente, se puede comprender con amplitud la categoría de investigación teórica, la cual se presenta debido a que los sujetos de este objetivo tienen características distintas, lo cual implica que existen dos enfoques según el avance: cualitativo, cuantitativo, donde se indica la finalidad de los resultados de la investigación, presentada de manera diferente. De esta manera, con base en los resultados obtenidos en el objetivo 1 y el objetivo 2, se indagó en bases de datos suscritas por la universidad como *ScienceDirect*, proyectos donde se establecen medidas para mejorar la producción de concreto premezclado, comparando las características de cada uno con las del presente proyecto, con el fin de comprender que tipo las medidas se pueden proponer.

2.3.2 Establecer las propuestas de mejora para la optimización del proceso de concreto premezclado

En este objetivo los sujetos de información son los informes realizados por medio de los resultados obtenidos, según los objetivos planteados anteriormente, con el fin de establecer propuestas de mejora para optimizar los procesos de trabajo. Estos informes detallados contienen un análisis de los resultados que se obtuvieron, tanto del control de calidad del concreto premezclado como de la productividad de la planta en donde se realiza la mezcla. Se definen los informes detallados como los sujetos, debido a que es de los resultados de los dos objetivos anteriores que proviene la información necesaria para poder cumplir satisfactoriamente este objetivo.

Las principales fuentes de información para la investigación son artículos, libros, tesis y documentos con información confiable con condiciones similares a la existentes en la planta de concreto premezclado de la empresa, esto con el fin de proveer una lista con propuestas adecuada, las cuales puedan ser aprovechadas y cumplir con su objetivo de mejorar dicho proceso; estas medidas se obtienen del análisis de los resultados del objetivo 1 y objetivo 2, donde se determinan las principales deficiencias que más podrían

afectar el control de calidad y la realización del concreto premezclado, asimismo, se proponen medidas para mitigar y eliminar dichas deficiencias.

La técnica utilizada en este objetivo es la investigación, la cual se realiza con base en la información recolectada, los resultados obtenidos de los informes de los objetivos desarrollados anteriormente, así como el debido análisis de estos; por otro lado, el instrumento por el cual se hace la investigación son las fuentes de información como tesis, libros, artículos y cualquier otra fuente confiable y con características aplicables a las condiciones encontradas en la planta de producción de concreto premezclado, estas fuentes de información se buscan principalmente de manera digital, en las bases de datos suscritas de la universidad, así como en navegadores web; cabe destacar que los documentos encontrados se almacenaron en la biblioteca del dispositivo de trabajo, en el cual se nombraba cada uno con respecto al tema al que estaba relacionado, para así tener un rápido acceso según la información que se necesita. Respecto de las fuentes descritas, se buscan proyectos realizados anteriormente, donde, de la misma forma que en el presente proyecto, se tenga como finalidad la mejora de los procesos en plantas de concreto premezclado, así mismo, documentos que contengan información útil para solventar y resolver las problemáticas y deficiencias encontradas en la planta de concreto premezclado.

Los resultados obtenidos de los instrumentos señalados se presentan principalmente por medio de resúmenes y descripciones, debido a que estos son, en su mayoría, textos de información. Se analizan considerando como propuestas aquellos que se identifiquen como las medidas más adecuadas para mitigar las problemáticas y deficiencias encontradas en la planta de concreto premezclado, en función de mejorar diversos aspectos.

La investigación de medidas de mejora existentes y aplicadas en otros proyectos similares y el análisis de la información recolectada en los informes de los objetivos anteriores, proporcionan un resumen, a manera de informe, de las posibles medidas para la mejora del proceso de elaboración de concreto premezclado, lo que permite tanto el cumplimiento del presente objetivo específico, como el objetivo general del proyecto.

Capítulo 3: Resultados

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos de las actividades descritas en el capítulo anterior; se clasifican según el objetivo a cumplir en las siguientes secciones: Control de calidad, productividad y propuestas de mejora del proceso de elaboración de concreto premezclado.

En cada una de las secciones mencionadas anteriormente se presentan los resultados por medio de cuadros, tablas, figuras y descripciones, según corresponda. En este capítulo no se analizan los resultados, dicho análisis se efectúa en el capítulo 4 del presente documento. Cabe destacar que, en los capítulos de anexos y apéndices se puede encontrar la evidencia fotográfica de los procedimientos y de los resultados obtenidos del laboratorio.

3.1 Control de calidad

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del control de calidad realizado al agregado, aditivos y a la mezcla de concreto premezclado.

A continuación, se muestra en los cuadros 1, 2, 3, 4, 5 y 6 un resumen de los resultados de las normas para evaluar los agregados utilizados en el Departamento de Control de Calidad.

Cuadro 1. Comprobación de cumplimiento de norma ASTM C33

ASTM C33 "Standard Specification for Concrete Aggregates"		
Sección	Aspectos realizados	Aspectos no realizados
Agregado fino	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 5.1. En las figuras 97, 103 y 131 del capítulo de Anexos se pueden observar los resultados del ensayo de granulometría del agregado fino del laboratorio de control de calidad.	Apartado 6.1: No todas las muestras cumplen con los requerimientos de graduación, además, no se considera el tamiz de 9.5 mm. Apartado 6.2: No cumple por que el módulo de finura, no se encuentra dentro de los límites.
Agregado grueso	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 9.1. En las figuras 99 y 101 del capítulo de Anexos se pueden observar los resultados del ensayo de granulometría del agregado grueso del laboratorio de control de calidad.	Apartado 9.1: No todas las muestras cumplen con los requerimientos de graduación, además, no se considera el tamiz de 25.0 mm en la piedra cuarta.
Métodos de muestreo y ensayos	Se cumple con el apartado 12.1, dentro de los cuales son aplicables: 12.1.2, 12.1.3 y 12.1.9.	

Cuadro 2. Comprobación de cumplimiento de norma ASTM C117

ASTM C117 "Standard Test Method for Materials finer than 75 μm (N.º 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing"		
Sección	Aspectos realizados	Aspectos no realizados
Aparatos y materiales	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4. El equipo utilizado para este ensayo se puede observar en las figuras 16, 17, 18 y 19 en el capítulo de apéndices.	
Procedimiento	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 8.1, 8.3 y 8.5 El procedimiento utilizado para este ensayo se puede observar en las figuras 19, 20, 21, 22, 23 y 24 en el capítulo de apéndices	Apartado 8.4: El proceso se repite, pero no hasta que el agua esté transparente.
Cálculo	Se cumple con lo descrito en el apartado 10.1.	
Precisión y sesgo		Apartado 11.1: No se cumple debido a que se tiene un resultado único por ensayo.

Cuadro 3. Comprobación de cumplimiento de norma ASTM C136

ASTM C136 “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates”		
Sección	Aspectos realizados	Aspectos no realizados
Aparatos	Se cumple con lo establecido en los apartados 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4 Este equipo se puede observar en las figuras 18 y 25 en el capítulo de apéndices.	
Muestreo	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 7.3 y 7.7.	El apartado 7.5 no cumple debido a que la muestra utilizada para el agregado grueso es de 2.6 kg.
Procedimiento	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 8.1, 8.2, 8.3, 8.4, 8.7. 8.8 El procedimiento se puede observar en las figuras 26, 27, 28, 29 y 30 en el capítulo de apéndices.	Apartado 8.4: Se efectúan menos golpes de los especificados.
Cálculo	Se cumple con lo establecido en los apartados 9.1 y 9.2.	
Precisión y sesgo		Apartado 11.1: no se cumple debido a que presenta un resultado único por cada ensayo.

Cuadro 4. Comprobación de cumplimiento de norma ASTM C566

ASTM C566 "Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying"		
Sección	Aspectos realizados	Aspectos no realizados
Aparatos	Se cumple con lo establecido en los apartados 5.2, 5.3 y 5.4. Este equipo se puede observar en las figuras 31 y 32 en el capítulo de apéndices	Apartado 5.1: La balanza utilizada no presenta la precisión requerida.
Muestreo		Apartado 6.2: El tamaño de la muestra que se obtiene para realizar el ensayo al agregado grueso es de 500 g. El agregado grueso tiene un tamaño nominal máximo de 19 mm, por lo que la muestra debería de ser de 3 kg, pero se utilizan los 500 g para efectos de lo que necesita.
Procedimiento	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 7.2 y 7.4. El procedimiento se puede observar en las figuras 33 y 34 en el capítulo de apéndices.	Apartado 7.1 y 7.5: La masa de la muestra no se determinó con la precisión correcta.
Cálculo	Se cumple con lo establecido en el apartado 8.1.	
Precisión y sesgo		Apartado 9.1: No se cumple debido a que se tiene un único resultado por muestra.

Cuadro 5. Comprobación de cumplimiento de norma ASTM C29

ASTM C29 "Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate"		
Sección	Aspectos realizados	Aspectos no realizados
Aparatos	Se cumple con lo descrito en los apartados: 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4 Este equipo se puede observar en las figuras 41, 36, 35 y 37. en el capítulo de apéndices.	
Muestra de ensayo	Se cumple con lo descrito en los apartados 7.1 y 7.2.	
Procedimiento	Se cumple con lo descrito en los apartados 9.1, 9.2, 9.2.3 y 9.3 Este procedimiento se puede observar en las figuras 37, 38, 39, 40, y 41 en el capítulo de apéndices.	
Cálculo	Se cumple con el apartado 10.1, el cual es el aplicable al objeto de estudio.	
Precisión y sesgo		Apartado 12.3: No se cumple debido a que los valores son mayores a los máximos establecidos por la norma.

Cuadro 6. Comprobación de cumplimiento de norma ASTM C128

ASTM C128 “Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption for Fine Aggregate”		
Sección	Aspectos realizados	Aspectos no realizados
Aparatos	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 6.1, 6.2, 6.4, 6.5 y 6.6. Este equipo se puede observar en las figuras 16, 18, 42 y 43 en el capítulo de apéndices.	
Preparación del espécimen de ensayo.	Se cumple con lo descrito en los apartados 8.1, 8.2 y 8.3. La preparación del espécimen a utilizar para este ensayo se puede observar en las figuras 44, 45 y 46 en el capítulo de apéndices.	
Procedimiento	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 9.1 y 9.2. El procedimiento utilizado para este ensayo se puede observar en las figuras 47 y 48 en el capítulo de apéndices.	Apartado 9.2.2 no se cumple debido a que no se regula la temperatura.
Cálculos	Se cumple con lo descrito en los apartados 10.1, 10.2 y 10.3.	
Precisión y sesgo		Apartado 12.1: No cumple debido a que se tiene un único resultado por muestra.

En los cuadros 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15 se presenta un resumen de los resultados de las normas para analizar el desempeño del concreto y la mezcla de concreto premezclado elaborados en el Departamento de Control de Calidad.

Cuadro 7. Comprobación de cumplimiento de norma ASTM C94

ASTM C94 “Standard Specification for Ready-Mixed Concrete”		
Sección	Aspectos realizados	Aspectos no realizados
Materiales	El cumplimiento del apartado 5.3 se verifica en la norma ASTM C33.	
Asentamiento	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 7.1.2 y 7.2	
Medición de los materiales	Se cumple con lo establecido en los apartados: 9.1, 9.2, 9.4 y 9.5., los cuales son aplicables al objeto de estudio.	
Planta de concreto hidráulico	Se cumple con lo establecido en el apartado 10.1, 10.2 y 10.5 La planta de producción de concreto premezclado se puede observar en la figura 94 en el capítulo de apéndices.	Apartado 10.3: No cumple con los mínimos para la verificación de exactitud. Apartado 10.4: Las piezas no se mantienen limpias.
Mezcladores y agitadores	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 11.3 y 11.4	Apartado 11.2: No cumple con las revoluciones establecidas por la norma.
Mezcla y entrega	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 12.12.	
Prácticas, métodos de ensayo e informes	Se cumple con lo establecido en el apartado: 16.1, 16.2 y 16.3.	
Muestreo y ensayos de concreto hidráulico fresco	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 17.2, 17.3, 17.4 y 17.5. El muestreo se puede observar en la figura 81, asimismo como en las respectivas secciones de cada norma.	

Sección	Aspectos realizados	Aspectos no realizados
Resistencia	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 18.1, 18.2, 18.3 y 18.5. Los resultados de estos ensayos se pueden observar en las figuras 138, 139, 140, 141, y 142.	
Incumplimiento de los requisitos de resistencia	Se cumple con lo establecido en el apartado 19.1.	

Cuadro 8. Comprobación de cumplimiento de norma INTE C17
INTE C17 “Muestreo de concreto recién mezclado”

Sección	Aspectos realizados	Aspectos no realizados
Muestreo	Se cumple con lo establecido en el apartado 4.1.	Apartado 4.1.2: En ocasiones, el contenedor donde se transporta la mezcla del concreto utilizado para los ensayos no se protege del sol, según el ángulo de impacto de la luz solar, como se puede observar en la Figura 47 en el capítulo de apéndices.
Procedimiento	Se cumple con el siguiente apartado, el cual es el aplicable al objeto de estudio: 5.1. El procedimiento utilizado para este ensayo se puede observar en las figuras 81 en el capítulo de apéndices.	Para el apartado 5.2 se debe considerar el muestreo en camiones automezcladores, lo cual no se cumple debido a que el concreto se muestrea en la planta.

Cuadro 9. Comprobación de cumplimiento de norma INTE C43

INTE C43 “Medición de temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado”		
Sección	Aspectos realizados	Aspectos no realizados
Equipo	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 4.1, 4.2 y 4.4. El equipo utilizado se puede observar en las figuras 53, 54 y 55 en el capítulo de apéndices.	
Muestreo de concreto	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 6.2 y 6.3.	
Procedimiento	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 7.1. El procedimiento de medición de temperatura se puede observar en las figuras 55 y 56 en el capítulo de apéndices.	Apartado 7.2: El medidor de temperatura se deja menos del tiempo mínimo establecido.
Precisión y sesgo		No se cumple con el apartado 9.2 debido a que se tiene un único resultado por muestra.

Cuadro 10. Comprobación de cumplimiento de norma INTE C41

INTE C41 “Asentamiento en el concreto del cemento hidráulico. Método de ensayo”		
Sección	Aspectos realizados	Aspectos no realizados
Equipo	Se cumple con lo establecido en el apartado 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4. El equipo utilizado se puede observar en las figuras 49, 50, y 51 en el capítulo de apéndices.	
Muestra	El cumplimiento del apartado 6.1 se verifica en la norma INTE C17	
Procedimiento	Se cumple con lo establecido en el apartado 7.1, 7.2 y 7.3.	Apartado 7.4: No se cumple debido a que una parte importante de las muestras presenta desplome de concreto.
Precisión y sesgo		Apartado 9.1: No se cumple debido a que solamente se tiene un único resultado por muestra.

Cuadro 11. Comprobación de cumplimiento de norma INTE C72

INTE C72 "Método para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire del concreto por el método gravimétrico"		
Sección	Aspectos realizados	Aspectos no realizados
Equipo	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 4.1, 4.2, 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7 El equipo utilizado en este ensayo se puede observar en las figuras 49, 50, 82, 85, 87 y 88 en el capítulo de apéndices.	
Muestra	El cumplimiento del apartado 5 se verifica en la norma INTE C17	
Procedimiento	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 6.1, 6.2, 6.3, 6.5, 6.6 y 6.7. El procedimiento de determinación del peso unitario y rendimiento se puede observar en las figuras 83, 84, 85, 86 y 87 en el capítulo de apéndices.	
Cálculos	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 7.1 y 7.3. Los cálculos para la determinación del peso unitario y rendimiento se pueden observar en las figuras 120 y 121 en el capítulo de anexos.	
Precisión y sesgo		Apartado 9.1: No se cumple debido a que se tiene un único resultado por muestra.

Cuadro 12. Comprobación de cumplimiento de norma ASTM C470

ASTM C470 "Standard Test Method Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically"		
Sección	Aspectos realizados	Aspectos no realizados
Requisitos generales	Se cumple con lo establecido en el apartado 4.1.	
Moldes reutilizables	Se cumple con lo establecido en el apartado 5.1 y 5.2. Los moldes se pueden observar en las figuras 78, 79 y 80 en el capítulo de apéndices.	Apartado 5.3: No se cumple debido que únicamente se realizan los ensayos al momento de ponerlos en uso.

Cuadro 13. Comprobación de cumplimiento de norma INTE C19

INTE C19 “Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo en el campo”		
Sección	Aspectos realizados	Aspectos no realizados
Equipo	El cumplimiento del apartado 5.2 se verifica en la norma ASTM C470 El cumplimiento del apartado 5.9 se verifica en la norma INTE C41 El cumplimiento del apartado 5.12 se verifica en la norma INTE C43 Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 5.1, 5.4, 5.6, 5.7, 5.8 y 5.10. Este equipo se puede observar en las figuras 36, 50, 52, 81 y 88 en el capítulo de apéndices.	
Requisitos de ensayo	Se cumple con el apartado 6.1 el cual es el aplicable al objeto de estudio. El cumplimiento del apartado 6.3 se verifica en la norma ASTM C1077.	
Muestreo de concreto	El cumplimiento del apartado 7.1 se verifica en la norma INTE C17 Se cumple con lo establecido en el apartado 7.2.	
Asentamiento, contenido de aire y temperatura	El cumplimiento del apartado 8.1 se verifica en la norma INTE C41 El cumplimiento del apartado 8.3 se verifica en la norma INTE C43	
Moldeo de especímenes	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 9.1, 9.2, 9.4, 9.5 y 9.6 El proceso de moldeo de especímenes se puede observar en las figuras 64, 65, 66, 67, 68 y 69 en el capítulo de apéndices.	

Sección	Aspectos realizados	Aspectos no realizados
Curado		Apartado 10.1: No se cumple con el curado final y el curado inicial no se realiza.
Transporte de los especímenes al laboratorio	Se cumple con lo establecido en el apartado 11.1.	

Cuadro 14. Comprobación de cumplimiento de norma ASTM C39

ASTM C39 "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens"		
Sección	Aspectos realizados	Aspectos no realizados
Aparatos	Se cumple con lo establecido en el apartado 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 y 6.5. El equipo utilizado en este ensayo se puede observar en las figuras 71, 72, 73, 74, 75 y 76 en el capítulo de apéndices.	
Especímenes	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 7.1 y 7.2.	Apartado 7.3: No se determina el diámetro promedio de los cilindros diariamente, debido a que dichos cilindros son hechos en los mismos moldes.
Procedimiento	Se cumple con lo establecido en el apartado 8.1, 8.2, 8.4, 8.5 y 8.6. El procedimiento para la determinar la resistencia a la compresión se puede observar en la figura 77 en el capítulo de apéndices.	Apartado 8.3: No se cumple debido a que se excede la tolerancia admisible.
Cálculo	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 9.1.	
Informe	Se cumple con lo establecido en el apartado 10.1.	
Precisión y sesgo		Apartado 11.1: No se cumple debido a que la mayor parte de los coeficientes de variación superan los mínimos establecidos por la norma.

Cuadro 15. Comprobación de cumplimiento de norma ASTM C1077

ASTM C1077 “Standard Practice for Agencies Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Testing Agency Evaluation”		
Sección	Aspectos realizados	Aspectos no realizados
Calificaciones del personal	Se cumple con lo establecido en el apartado 6.1 La evidencia de certificados de los técnicos y supervisor del laboratorio se puede observar en las figuras 113 y 114 en el capítulo de anexos.	
Métodos de ensayo y procedimientos	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 7.1, 7.2, 7.4 y 7.5.	
Instalaciones, equipos y procedimientos complementarios	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 8.1, 8.2, 8.4 y 8.6 El cumplimiento del apartado 8.3 se verifica con el método de ensayo C39.	
Registros e informes del organismo de ensayo	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio 9.1, 9.2, 9.3 y 9.6 Evidencia del cumplimiento de estos apartados se puede observar en las figuras 115, 116, 117, 118 y 119 en el capítulo de anexos.	
Sistemas de calidad	Se cumple con lo establecido en el apartado 10.1	
Evaluación del organismo de ensayo	Se cumple con los siguientes apartados, los cuales son los aplicables al objeto de estudio: 11.1, 11.2 y 11.3	

3.1.1 Agregados

En la evaluación del agregado para la mezcla de concreto premezclado, se utilizaron las siguientes normas:

- **ASTM C33** “Standard Specification for Concrete Aggregates”.
- **ASTM C117** “Standard Test Method for Materials finer than 75 um (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing”
- **ASTM C136** “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates”.
- **ASTM C566** “Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying”.
- **ASTM C29** “Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate”.
- **ASTM C128** “Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption for Fine Aggregate”.

Los resultados de la evaluación de los agregados utilizando las normas anteriormente mencionadas se encuentran resumidas en los cuadros 1, 2, 3, 4, 5 y 6, pero para efectos de presentar un mayor de detalles de estos se describirán a continuación, según las normas utilizadas.

3.1.1.1 ASTM C33 “Standard Specification for Concrete Aggregates

En este ensayo se analiza tanto el agregado fino como el agregado grueso.

En este caso, el agregado fino es arena fabricada, además, a las arenas utilizadas para la mezcla de concreto premezclado se les aplicó el método de ensayo estándar de la norma ASTM C136, la cual es para el análisis de granulométrico de agregados finos y gruesos. Los resultados de este método de ensayo se encuentran en la respectiva sección. Los resultados del módulo de finura también se presentan en la sección del de la norma ASTM C136.

Por otra parte, el agregado grueso es piedra de río molida, además, al igual que en el agregado fino a la piedra utilizada en la mezcla de concreto premezclado se les aplicó el método de ensayo de la norma ASTM C-136; estos resultados se encuentran en la sección de dicha norma, así también como los módulos de finura.

Los apartados de esta norma no abarcados se deben a que el laboratorio no realiza los ensayos con la frecuencia necesaria para efectuar el análisis necesario.

Entre los ensayo y análisis a que son sometidos los agregados, se encuentran: método de ensayo ASTM C136, método de ensayo ASTM C117, ASTM C29, ASTM C128 y ASTM C566.

Los resultados de la granulometría del agregado fino se pueden observar en las tablas 4 y 5, además, se presentan en las figuras 1 y 2 las gráficas que muestran el comportamiento de la granulometría del agregado fino, en comparación con los requisitos de graduación establecidos por la norma; estos se pueden

observar en la Tabla 2. Se destaca que, tanto para la granulometría del agregado fino como el grueso, se les sumó los resultados obtenidos en los ensayos de lavado del material que pasa por el tamiz de 0.075 mm.

Tabla 4. Granulometría del agregado fino-arena río 1

Tamiz (mm)	Masa retenida (g)	Porcentaje de masa retenido	Masa retenida acumulada	Porcentaje de masa retenido acumulado	Porcentaje acumulado que pasa
4.75	10.80	2.35%	10.80	2.35%	97.65%
2.36	79.30	17.22%	90.10	19.57%	80.43%
1.18	97.50	21.18%	187.60	40.75%	59.25%
0.60	118.50	25.74%	306.10	66.49%	33.51%
0.30	98.10	21.31%	404.20	87.79%	12.21%
0.15	40.90	8.88%	445.10	96.68%	3.32%
0.075	9.20	2.00%	454.30	98.68%	1.32%
Charola	6.10	1.32%	460.40	100.00%	
Total	460.40				
% error	0.0%				
Módulo de fineza	3.14				
Masa original	460.40				

Tabla 5. Granulometría del agregado fino-arena de río 2

Tamiz (mm)	Masa retenida (g)	Porcentaje de masa retenido	Masa retenida acumulada	Porcentaje de masa retenido acumulado	Porcentaje acumulado que pasa
4.75	13.70	3.03%	13.70	3.03%	96.97%
2.36	84.30	18.63%	98.00	21.66%	78.34%
1.18	91.30	20.18%	189.30	41.84%	58.16%
0.6	101.10	22.35%	290.40	64.19%	35.81%
0.3	96.20	21.26%	386.60	85.46%	14.54%
0.15	46.40	10.26%	433.00	95.71%	4.29%
0.075	10.30	2.28%	443.30	97.99%	2.01%
Charola	9.10	2.01%	452.40	100.00%	
Total	452.40	100.00%			
% error	0.00%				
Módulo de fineza	3.12				
Masa original	452.40				

Figura 1. Gráfica de la granulometría del agregado fino-arena de río 1 en comparación con los límites.

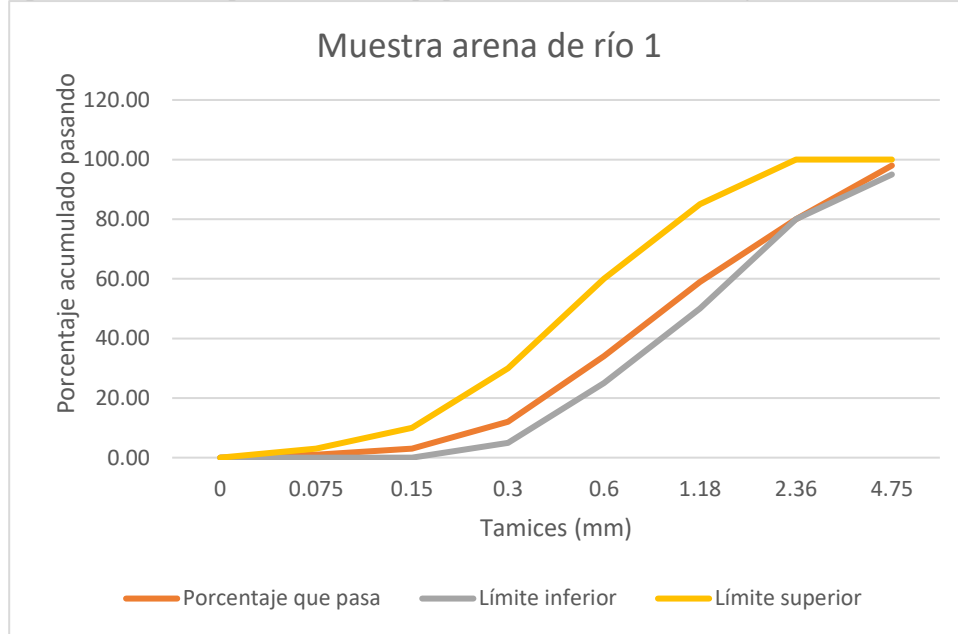
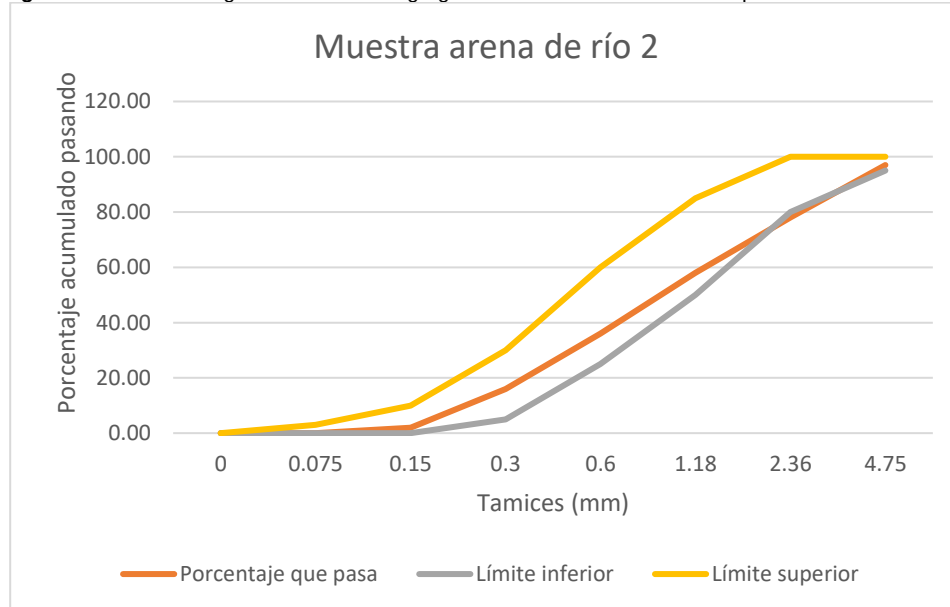


Figura 2. Gráfica de la granulometría del agregado fino-arena de río 2 en comparación con los límites.



Los resultados de la granulometría del agregado grueso se pueden observar en las tablas 6 y 7, además, se presentan en las figuras 3 y 4 las gráficas que representan el comportamiento de la granulometría del agregado grueso, en comparación con los requisitos de graduación establecidos por la norma; estos se pueden observar en la Tabla 1. La piedra cuarta debe cumplir con los requisitos de graduación para un tamaño de 6 y la piedra quinta para un tamaño de 8, según la Tabla 1. Se destaca que el análisis se centra en la piedra cuarta debido a que es el agregado que se utiliza en casi la totalidad del concreto producido en la planta.

Tabla 6. Granulometría del agregado grueso – piedra cuarta 1.

Tamiz (mm)	Masa retenida (g)	Porcentaje de masa retenido	Masa retenida acumulada	Porcentaje de masa retenido acumulado	Porcentaje acumulado que pasa
19.00	222.70	8.81%	222.7	8.81%	91%
12.70	1740.90	68.89%	1963.60	77.70%	22%
9.50	367.00	14.52%	2330.60	92.23%	8%
4.75	162.70	6.44%	2493.3	98.67%	1%
0.075	31.40	1.24%	2524.70	99.91%	0%
Charola	2.91	0.09%	2527.00	100.00%	
Total	2527				
% error	0.0%				
Módulo de finura	2.77				
Masa original	2527				

Tabla 7. Granulometría del agregado grueso – piedra cuarta 2.

Tamiz (mm)	Masa retenida (g)	Porcentaje de masa retenido	Masa retenida acumulada	Porcentaje de masa retenido acumulado	Porcentaje acumulado que pasa
19.00	75.5	2.99%	75.5	2.99%	97%
12.70	1110.6	44.02%	1186.10	47.01%	53%
9.50	977.6	38.75%	2163.70	85.76%	14%
4.75	330.1	13.08%	2493.80	98.84%	1%
0.075	25.5	1.01%	2519.30	99.85%	0%
Charola	3.7	0.15%	2523.00	100.00%	
Total	2523				
% error	0.0%				
Módulo de finura	2.33				
Masa original	2523				

Se destaca que el procedimiento para obtener el error en estos ensayos es incorrecto, esto debido a que la diferencia entre la masa colocada en los tamices entre la medida al final del ensayo se ajusta entre las masas retenidas por cada tamiz, lo cual es un incumplimiento importante, por lo que afecta los resultados de

la granulometría tanto del laboratorio como los presentados en este proyecto, debido a que no se conoce el error real de los ensayos.

Figura 3. Gráfica de la granulometría del agregado grueso-piedra cuarta 1 en comparación con los límites

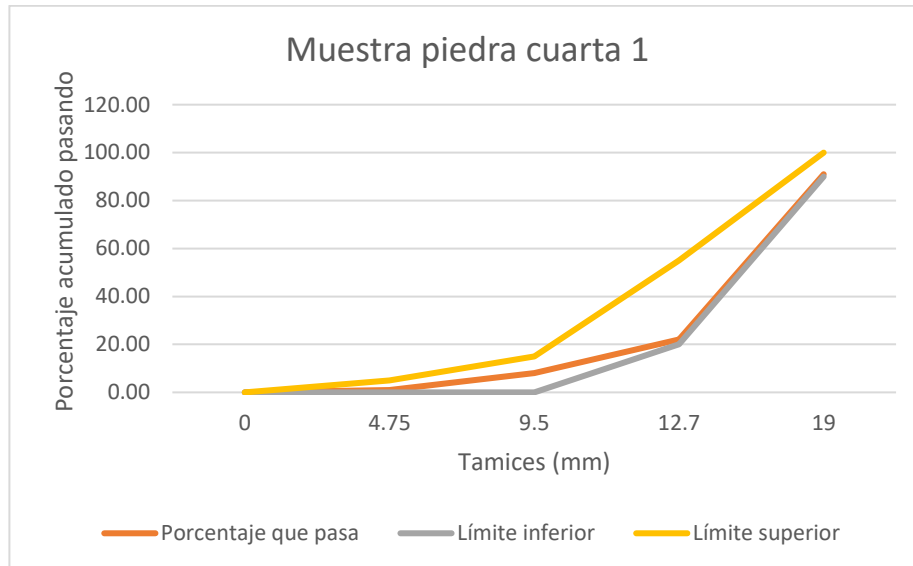
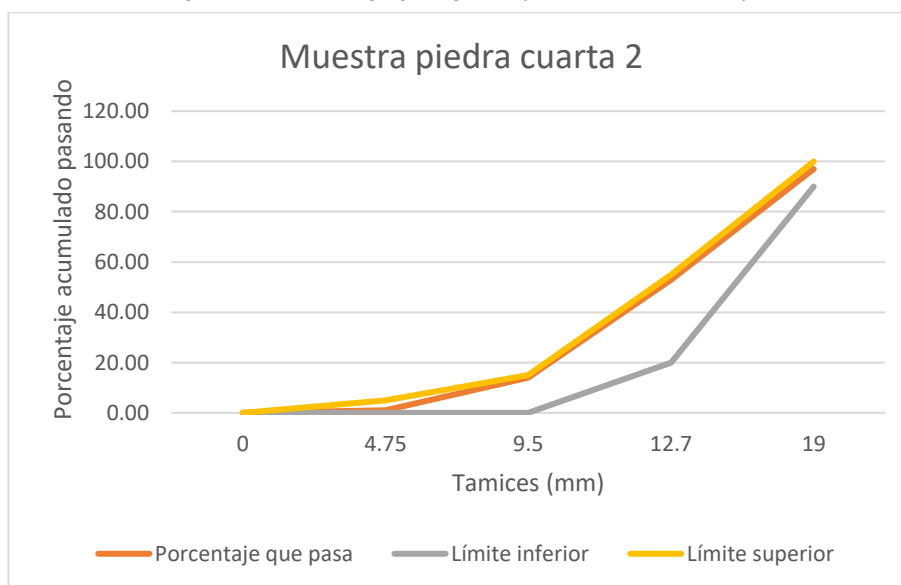


Figura 4. Gráfica de la granulometría del agregado grueso-piedra cuarta 2 en comparación con los límites



En las figuras 97, 99, 101, 103 y 131 de los anexos se puede observar el registro del laboratorio del Departamento de Control de Calidad.

Se determina que las muestras de agregado fino no cumplen con los aspectos abarcados de la norma, tanto por lo requisitos granulométricos como por el módulo de finura, asimismo el agregado grueso tampoco cumple con los requisitos granulométricos debido al ajuste realizado para alcanzar el error de 0%.

3.1.1.2 ASTM C117 “Standard Test Method for Materials finer than 75 μm (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing”

El equipo utilizado para este ensayo es una balanza con una precisión de 0.001 g, una bandeja, un horno con capacidad para mantener la temperatura constante y un par de tamices, los cuales son un tamiz de 0.075 mm y uno de 1.18 mm; estos dos cumplen con la especificación E11, debido a que periódicamente son certificados por un ente externo. Este equipo se puede observar en las figuras 16, 17, 18 y 19 del capítulo de apéndices.

El muestreo se realiza de la misma manera descrita en la sección 3.1.1.6 de este trabajo. Se destaca que la muestra utilizada para este ensayo debe usarse también para el ensayo de granulometría, de acuerdo con el método de ensayo C136. Para este ensayo se utiliza una muestra de 500 gramos. El equipo utilizado y la cantidad de muestra obtenido cumplen con lo especificado.

El procedimiento realizado por el técnico del Departamento de control de calidad incumple en el lavado de la muestra, debido a que cuando se termina de lavar el agua de la muestra aún presenta material suspendido, por lo que se debe continuar el proceso. En las figuras 97, 99, 101, 103 y 130 del capítulo de los apéndices, se puede encontrar evidencia del procedimiento realizado. El cálculo efectuado es el correcto, este se puede observar en la ecuación 1 a continuación:

$$A = \left[\frac{B-C}{B} \right] \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

En este caso, en la ecuación anterior la A representa el porcentaje de material más fino que el tamiz de 0.075 mm, la B es la masa original en seco y la C es la masa de la muestra en seco después del lavado.

Además, para obtener la diferencia entre los dos límites sigma se realizó la siguiente ecuación:

$$d2s = 1s * 2\sqrt{2} \quad \text{Ec. 2}$$

A continuación, se presentan en las tablas 8 y 9 los resultados de los ensayos del material más fino que un tamiz de 75 μm (N°200).

Tabla 8. Resultados del ensayo del material más fino que un tamiz 75 μm (N.º200) con arena de río 1

Criterio	Valor (gramo)
Peso seco inicial	657.0
Peso del recipiente	196.6
Peso seco inicial-peso de recipiente	460.4
Peso inicial después de ensayo	654
Peso recipiente	196.6
Peso final	457.4
Diferencia en masa	3
%Pasando tamiz de 0.075 mm	0.65%

Tabla 9. Resultados del ensayo del material más fino que un tamiz 75 μm (N.º200) con arena de río 2.

Criterio	Valor (gramo)
Peso seco inicial	649.0
Peso del recipiente	196.6
Peso seco inicial-peso de recipiente	452.4
Peso inicial después de ensayo	642.6
Peso recipiente	196.6
Peso final	446
Diferencia en masa	6.4
%Pasando tamiz de 0.075 mm	1.41%

En la Tabla 10 se presenta desviación estándar y el rango de dos resultados de las muestras de arena de río del ensayo del material más fino que un tamiz 75 μm , además, en la Tabla 11 se presentan estos datos, pero consideran el material de la charola del ensayo de granulometría.

Tabla 10. Precisión del ensayo del material más fino que un tamiz 75 μm (N.º200)

Criterio	Arena río 1 (%)	Arena río 2 (%)	Desviación estándar (1s)	Rango de dos resultados (d2s)
Total de material que pasa por el tamiz de 75 μm	0.65	1.41	0.537	0.738

Tabla 11. Precisión de los ensayo del material más fino que un tamiz 75 μm (N.º200) en conjunto con el ensayo de granulometría

Criterio	Arena río 1 (%)	Arena río 2 (%)	Desviación estándar (1s)	Rango de dos resultados (d2s)
Total de material que pasa por el tamiz de 75 μm	1.32	2.01	0.488	0.414

Se indica que la desviación estándar y el rango de los resultados se debe calcular de los resultados de la misma muestra y no de muestras distintas, por lo que no se puede determinar de manera correcta.

3.1.1.3 ASTM C136 “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates”

El equipo utilizado en esta práctica es una balanza con una precisión de 0.001 g, tamices los cuales cumplen con la especificación E11, y un agitador mecánico de tamices, el cual es un dispositivo mecánico de tamizado el cual hace que las partículas reboten giren y den vueltas de manera que se facilite a las partículas pasar por las telas de los tamices. Este equipo cumple con lo especificado y se puede observar en las figuras 18 y 25 del capítulo de apéndices.

El tamaño de la muestra utilizado para el agregado fino fue de 500g, y la muestra para el agregado grueso fue de 2600 g, donde este último no cumple debido que la muestra debe ser de mínimo 5000 g.

El procedimiento realizado por el personal de control de calidad no cumple en el proceso de tamizado manual, donde los golpes dados a los tamices son menores al especificado en la norma. El procedimiento se puede observar en las figuras 26, 27, 28, 29 y 30 del capítulo de apéndices.

Entre los cálculos realizados se encuentran la masa retenida por cada tamiz, la masa retenida acumulada y el material total pasando por tamiz.

En las tablas 12 y 13 se presenta la desviación estándar y el rango de dos resultados de las muestras de arena de río y piedra cuarta de los ensayo de granulometría, respectivamente, además, estas incluyen los máximos establecidos por la norma para estos criterios. Cabe destacar que la piedra cuarta según la tabla 1 se compara con los requisitos de graduación para un tamaño de 6 y la piedra quinta para un tamaño de 8.

Tabla 12. Precisión de los resultados de los ensayos de granulometría y los máximos de las muestras de arena.

Tamiz (mm)	Porcentaje acumulado que pasa de la muestra 2 de arena	Porcentaje acumulado que pasa de la muestra 1 de arena	Desviación estándar (1s)%	Rango de dos resultados (d2s)%	Máxima desviación estándar (1s)%	Máximo rango aceptable de dos resultados (d2s)%
4.750	97.65	96.97	0.48	0.68	0.26	0.7
2.360	80.43	78.34	1.48	2.09	0.55	1.6
1.180	59.25	58.16	0.78	1.10	0.83	2.4
0.600	33.51	35.81	1.62	2.29	0.83	2.4
0.300	12.21	14.54	1.65	2.34	0.36	1
0.150	3.32	4.29	0.68	0.97	0.37	1.1
0.075	1.32	2.01	0.49	0.69	0.14	0.4

Tabla 13. Precisión de los resultados de los ensayos de granulometría y los máximos de las muestras de piedra cuarta.

Tamiz (mm)	Porcentaje acumulado que pasa de la muestra 1 de piedra cuarta	Porcentaje acumulado que pasa de la muestra 2 de piedra cuarta	Desviación estándar (1s) %	Rango de dos resultados (d2s)%	Máxima desviación estándar (1s)%	Máximo rango aceptable de dos resultados (d2s)%
19.00	91.19	97.01	4.12	5.82	-	-
12.70	22.30	52.99	21.70	30.69	1.32	3.8
9.50	7.77	14.24	4.57	6.47	-	-
4.75	1.33	1.16	0.12	0.18	0.27	1.5
0.08	0.09	0.15	0.04	0.06	0.27	1.5

Se indica que la desviación estándar y el rango aceptable de los resultados se deben calcular de los resultados de la misma muestra y no de muestras distintas.

En las tablas 97, 99, 101, 103 y 131 de los anexos se puede observar el registro del laboratorio del Departamento de Control de Calidad.

3.1.1.4 ASTM C566 “Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying”

El equipo utilizado en este ensayo es una balanza con precisión de 1 g, una placa caliente a gas como fuente de calor, recipiente de la muestra y una cuchara como agitador. Este equipo se puede observar en las figuras 31 y 32 del capítulo de apéndices. El muestreo se realiza recolectando el material de las líneas transportadoras de los agregados por medio de recipientes, de estos se obtienen 500 g de agregado fino y agregado grueso. Se destacan un par de incumplimientos, los cuales son: la precisión de la balanza no es la adecuada y la cantidad de muestra para el agregado fino es menor a la especificada por la norma

El procedimiento realizado por el encargado del departamento de control de calidad es correcto, sin embargo, es afectado por la incorrecta precisión de la balanza. El procedimiento se puede observar en las figuras 33 y 34 del capítulo de apéndices.

El cálculo realizado es el correcto, el cual es el descrito en ecuación 3:

$$\rho = 100(W - D)/D \quad \text{Ec. 3}$$

En este caso, la W es la masa de la muestra original, la D es la masa de la muestra original y la ρ es el contenido de humedad evaporable de la muestra.

En la tablas 14 y 15 se presentan los resultados del ensayo de contenido de humedad para la arena de río y piedra cuarta, respectivamente, además, se muestran las desviaciones estándar de los dos resultados de contenido de humedad más distantes.

Tabla 14. Resultados de los ensayos de contenido de humedad de la arena de río y las desviaciones estándar

Fecha	Peso húmedo	Peso seco	Contenido de humedad	Desviación estándar (1s) %
29/07/2023	500	440	13.64%	2.13
	500	452	10.62%	
31/07/2023	500	447	11.86%	0.70
	500	451	10.86%	
	500	451	10.86%	
7/08/2023	500	456	9.65%	0.67
	500	460	8.70%	
16/08/2023	500	438	14.16%	0.73
	500	442	13.12%	

Tabla 15. Resultados de los ensayos de contenido de humedad de la piedra cuarta y las desviaciones estándar

Fecha	Peso húmedo	Peso seco	Contenido de humedad	Desviación estándar (1s) %
29/07/2023	500	485	3.09%	0.00%
	500	485	3.09%	
31/07/2023	500	483	3.52%	0.30%
	500	485	3.09%	
	500	490	2.04%	
7/08/2023	500	483	3.52%	0.30%
	500	485	3.09%	
16/08/2023	500	485	3.09%	0.15%
	500	486	2.88%	

Se indica que la desviación estándar se debe calcular de los resultados de la misma muestra y no de muestras distintas.

En las figuras 105, 106 y 107 del anexos se puede observar el registro del laboratorio del Departamento de Control de Calidad.

3.1.1.5 ASTM C29 “Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate”

Para este ensayo de laboratorio, el equipo utilizado es una balanza con una precisión 0.001 g, una varilla de compactación de redonda de acero lisa con un diámetro de 16 mm y una longitud de 400 mm con ambos extremos redondeados y una medida constituida por un recipiente cilíndrico de acero, con manijas en ambos lados, además hermético y suficientemente rígido para los ensayos, por el grosor de los bordes y del material del que está fabricado; se debe destacar que el borde superior es completamente liso y está en paralelo al fondo del recipiente. El recipiente tiene una capacidad de 9.5 litros, por lo cual supera el mínimo establecido que es de 9 litros para un tamaño nominal máximo del agregado. La comprobación del volumen se realiza únicamente al poner en uso el recipiente inicialmente, esto cuando el equipo se encuentra recién adquirido. Este equipo se puede observar en las figuras 35, 36, 37 y 41 del capítulo de apéndices. El equipo utilizado cumple con lo especificado en la norma.

La muestra que se obtiene es un 200% de la cantidad requerida para llenar el recipiente, esta se coloca en un horno a una temperatura de 110 °C, por 24 horas, para secarla. La cantidad de muestra obtenido cumplen con lo especificado.

Como se mencionó anteriormente, el volumen de la medida se realiza únicamente al momento de ponerse en uso inicialmente, esto debido a que el recipiente es suficientemente rígido, por lo cual es improbable que varíe su capacidad, además, el ente DMI metrología realiza la calibración periódicamente.

El procedimiento efectuado por el técnico del laboratorio cumple con la especificaciones de la norma. El procedimiento se puede observar en las figuras 37, 38, 39, 40 y 41 del capítulo de apéndices. La ecuación utilizada para determinar la densidad a granel o peso unitario también se considera correcta, esta es la Ecuación 4:

$$M = (G - T)/V \quad \text{Ec. 4}$$

En la ecuación anterior la M representa la densidad a granel, la G es la masa del agregado más el recipiente, la T es la masa del recipiente y la V es el volumen de la medida.

Figura 16. Resultados del ensayo de pesos unitarios a la arena pedregal

Criterio	Valor					
Peso recipiente (g)	2555					
Volumen recipiente (m^3)	0.0028					
Estado del agregado	Seco suelto			Húmedo suelto		
Peso muestra+recipiente (kg)	5980	6050	6103	6461	6537	6611
Peso neto muestra (kg)	3425	3495	3548	3906	3982	4056
Peso unitario (kg/m^3)	1223	1223	1267	1395	1422	1448
Promedio (kg/m^3)	1237			1421		

Figura 17. Resultados del ensayo de pesos unitarios a la arena río

Criterio	Valor					
Peso recipiente (g)	2555					
Volumen recipiente (m^3)	0.0028					
Estado del agregado	Seco suelto			Húmedo suelto		
Peso muestra+recipiente (kg)	6071	6074	6071	6645	6792	6858
Peso neto muestra (kg)	3516	3519	3516	4090	4237	4303
Peso unitario (kg/m^3)	1239	1240	1237	1441	1493	1516
Promedio (kg/m^3)	1239			1483		

En las tablas 18 y 19 se presenta la desviación estándar de los pesos unitarios obtenidos de la muestra de arena pedregal y arena de río, respectivamente; además, se calcula la desviación estándar considerando los dos pesos unitarios más cercanos y la diferencia entre estos dos pesos unitarios, donde se considera que la desviación estándar no cumple con lo establecido por la norma.

Tabla 18. Precisión de los resultados del ensayo de pesos unitarios a la arena pedregal

Peso unitario (kg/m^3)	Desviación estándar (kg/m^3)	Desviación estándar ajustado (kg/m^3)	Diferencia de los pesos unitarios (kg/m^3).
1395	26.50	18.38	26
1422			
1448			

Tabla 19. Precisión de los resultados del ensayo de pesos unitarios a la arena de río

Peso unitario (kg/m^3)	Desviación estándar (kg/m^3)	Desviación estándar ajustado (kg/m^3)	Diferencia de los pesos unitarios (kg/m^3).
1441	38.42	16.26	23
1493			
1516			

En las figuras 98, 100, 102 y 104 de los anexos se puede observar el registro del laboratorio del Departamento de Control de Calidad

3.1.1.6 ASTM C128 “Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption for Fine Aggregate”

El equipo utilizado es una balanza con una precisión de 0.001 gramos, un picnómetro con capacidad de 500 cm^3 , un horno con capacidad de mantener la temperatura constante y un molde y pisón para el ensayo de humedad superficial. El molde tiene forma de cono truncado con un diámetro interno superior de 40 mm y un diámetro interno inferior de 90 mm y el pisón tiene una masa aproximada de 340 g y una cara apisonadora de 25 mm de diámetro. Este equipo se puede observar en las figuras 16, 18, 42 y 43 del capítulo de apéndices. Además, la muestra obtenida es de 1000 g. Por ende, tanto el equipo como la cantidad de muestra cumplen con las especificaciones.

En el laboratorio de control de calidad se incumple un aspecto del procedimiento, el cual es el ajuste de temperatura a la especificada por la norma, este paso no se realiza. El procedimiento se puede observar en las figuras 47 y 48 del capítulo de apéndices.

Los cálculos realizados son mostrados en las ecuaciones 5, 6, 7 y 8, las cuales cumplen con lo establecido por la norma:

Densidad relativa (secado al horno, GBS):

$$A/(B + S - C) \quad \text{Ec. 5}$$

Densidad relativa (saturado con superficie seca, GBSS):

$$S/(B + S - C) \quad \text{Ec. 6}$$

Densidad relativa (GB):

$$A/(B + A - C) \quad \text{Ec. 7}$$

Porcentaje de absorción:

$$(S - A)/A \quad \text{Ec. 8}$$

La A representa la masa del espécimen secada al horno, B es la masa del picnómetro llenada con agua hasta la marca de calibración, C es la masa del picnómetro llenada con el espécimen y agua hasta la marca de calibración y la S es la masa del espécimen saturada con superficie seca.

A continuación, se presentan en las tablas 20 y 21, los resultados de los ensayos de gravedad específica y absorción:

Tabla 20. Resultados del ensayo de gravedad específica y absorción a la arena de río 1

Criterio	Valor (g)
Masa de la muestra secada al horno (A)	481.9
Picnómetro con agua hasta calibración (B)	660.0
Picnómetro+agua+muestra hasta calibración (C)	968.3
Masa del espécimen (S)	500
GBS	2.514
GBSS	2.608
GB	2.776
%Absorción	3.76%

Tabla 21. Resultados del ensayo de gravedad específica y absorción a la arena de río 2

Criterio	Valor (g)
Masa de la muestra secada al horno (A)	487.4
Picnómetro con agua hasta calibración (B)	666.3
Picnómetro+agua+muestra hasta calibración (C)	969.1
Masa del espécimen (S)	500.0
GBS	2.472
GBSS	2.535
GB	2.640
%Absorción	2.59%

En la tabla 22 se presentan los valores de desviación estándar y del rango de dos resultados.

Tabla 22. Valores de desviación estándar y del rango aceptable de dos resultados

Criterios	Valores		Desviación estándar	Rango de dos resultados
GBS	2.514	2.472	0.0297	0.042
GBSS	2.608	2.535	0.0516	0.073
GB	2.776	2.64	0.0962	0.136
%Absorción	3.76%	2.59%	0.0083	0.0117

Se indica que la desviación estándar y el rango de los resultados se debe calcular de los resultados de la misma muestra y no de muestras distintas.

En las figuras 98, 100, 102, 104 y 129 de los anexos se puede observar el registro del laboratorio del Departamento de Control de Calidad.

3.1.2 Concreto premezclado

Para el análisis del desempeño del concreto premezclado se utilizaron las siguientes normas:

- **ASTM C94** “Standard Specification for Ready-Mixed Concrete”.
- **INTE C17** “Muestreo de concreto recién mezclado”
- **INTE C43** “Medición de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado”
- **INTE C41** “Asentamiento en el concreto del cemento hidráulico. Método de ensayo”.
- **INTE C72** “Método para determinar la densidad (peso unitario) rendimiento y contenido de aire del concreto por método gravimétrico”
- **ASTM C470** “Standard Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically”
- **INTE C19** “Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo en el campo”
- **ASTM C39** “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”.

- **ASTM C1077** “Standard Practice for Agencies Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Testing Agency Evaluation”.

Los resultados del análisis del desempeño de mezcla de concreto premezclado utilizando las normas anteriormente mencionadas se encuentran resumidas en el cuadro 7, 8, 9, 10, 11.12, 13, 14, 15, pero para efectos de presentar un mayor de detalles de estos se describirán a continuación, según las normas utilizadas.

3.1.2.1 ASTM C94 “Standard Specification for Ready-Mixed Concrete”

Con base en esta norma se evalúan aspectos como los materiales, asentamiento, medición de los materiales, la planta de concreto, mezcladores y agitadores, mezcla, prácticas, métodos de ensayo e informes, muestreo y ensayos de concreto hidráulico fresco y resistencia. Otros aspectos que contiene esta norma pero que no están relacionados al presente proyecto son: base de compra, información sobre pedidos, concreto hidráulico con incorporación de aire, uso de equipos no agitadores, información de la tarjeta de entrega e inspección de la planta.

Los materiales evaluados por esta norma son los agregados, los cuales se establece que se deben ajustar a la especificación C33. Se debe destacar que los materiales cementantes y agua no se evaluaron según las especificaciones establecidas debido que la variabilidad de sus características, en comparación con los agregados, es significativamente menor y los aditivos químicos, debido a que la frecuencia con que se realizan los ensayos en el laboratorio es muy baja. En la sección de asentamiento se consideran las tolerancias para asentamientos objetivos; este asentamiento se obtiene una vez finalizada la carga de todos los materiales al camión mezclador, incluido el agua y los aditivos; se realiza en la planta de concreto premezclado por parte del laboratorio de la empresa. Se continúa en la sección de medición de los materiales. Los materiales cementantes, en este caso el cemento hidráulico, se miden en términos de masa con una sensibilidad de 1 kg, de la misma manera que los agregados finos y gruesos, y el agua; por otra parte, los aditivos químicos líquidos se miden en términos de volumen con una sensibilidad de 1 l, por lo cual se cumple con lo especificado por la norma. Debe destacarse que el agua de mezcla considera el agua de dosificación, hielo y la humedad libre de los agregados, además, el agua que se utiliza en la producción de concreto premezclado es extraída del río Barranca.

La planta de concreto premezclado cuenta con tres contenedores separados; un contenedor es para la arena, otro es para la piedra cuarta y otra es para la piedra quinta. Estos contenedores tienen una compuerta abierta por un brazo hidráulico cada vez que es necesario, además, cuenta con sensores para medir la cantidad de material que se vierte dentro de las tolvas, las cuales tienen balanzas con capacidad para 2000 kg. Las tolvas realizan la descarga de forma controlada, constante y completa. Además, la planta

tiene un cuarto de control, en este se encuentra el operador de la planta dosificadora, así como los controlares y dispositivos indicadores de la planta, donde el operador digita las cantidades por cargar en el instante necesario, como se puede observar en las figuras 92 y 93 del capítulo de apéndices; estos aspectos mencionados anteriormente, cumplen con las especificaciones establecidas en la norma. Por otra parte, aproximadamente una vez al mes se verifica la precisión de las balanzas, esto se hace colocando unos pesos estándares de 25 kg en cada esquina de la tolva, donde primero se coloca una, luego dos y así sucesivamente, hasta colocar las ocho pesas en la tolva, específicamente dos pesas en cada esquina, luego, retiran una por una, para verificar la medición de la balanza, tanto de forma ascendente como descendente; este procedimiento de verificación de precisión de las balanzas no cumple con las especificaciones de la norma. Además, las cargas de ensayo se realizan colocando en las tolvas una cantidad de agregado promedio al que se carga en los camiones mezcladores. Algunas partes de las tolvas presentan oxidación como las compuertas y las partes inferiores, así también, las partes que sostienen las compuertas presentan suciedad o permanencia de materiales; esto se puede observar en las figuras 90 y 91 en el capítulo de apéndices. Por último, el dispositivo de medición del agua añadida está colocado cerca del cuarto de control esto debido a que es una zona cercana a la descarga de material al camión mezclador y los tanques de almacenamiento están equipados con espitas y válvulas externas para realizar la verificación de calibración correspondiente, por lo cual esto cumple con la norma.

La mezcla de material se realiza por medio del camión concretero, que lo hace de manera uniforme y constante, así mismo, tiene la capacidad de fabricar y descargar concreto hidráulico mezclado de manera uniforme. Como se mencionó anteriormente, cuando se concluye el proceso de mezclado se realiza el ensayo de asentamiento para su verificación. Los camiones mezcladores son limpiados periódicamente tanto su exterior como su interior, para mantener constante la capacidad del tanque y no afectar las cargas y mezclas de concreto premezclado. Estos camiones mezcladores donde se mezcla el concreto premezclado son los encargados también de su respectiva entrega. El proceso de cargado de material se realiza una vez que el giro del tanque del camión mezclador esté acelerado y finaliza cuando el encargado de control de calidad indique que el concreto premezclado está listo para someterse a ensayos y luego ser entrega. Cuando el camión mezclador sale de la planta de concreto premezclado, no se le agrega más agua a la mezcla, en caso de que el cliente o el representante del cliente en obra indiquen que desean que la mezcla esté en un estado más plástico, el chofer del camión tiene los permisos para verter aditivo plastificante, lo cual afecta solamente las características físicas y no químicas, las cantidades vertidas al concreto son de 1 o 2 galones, esta dependerá del estado del material y del requerimiento del cliente; por otra parte, si ocurre algún inconveniente como una avería del camión o un atraso en obra, el chofer debe solicitar al Departamento de Control de Calidad el permiso para verter aditivo retardante así como la cantidad recomendada, de lo contrario, no le es permitido. Además, el cliente puede solicitar la temperatura a la que requiere la mezcla de concreto

premezclado, por lo que, si es necesario, se le agrega hielo al tanque del camión, antes de cargar los materiales.

El concreto premezclado se ensaya de acuerdo con los siguientes métodos, los cuales se describen detalladamente en su respectiva sección: la preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en el campo se ensayan siguiendo lo establecido a la norma INTE C19, que es la norma nacional correspondiente a la práctica ASTM C31; los ensayos de resistencia a la compresión de especímenes de concreto hidráulico cilíndricos se realizan según el método de ensayo ASTM C39; la densidad y rendimiento del concreto hidráulico se obtienen según la norma INTE C72, que es la norma nacional que corresponde al método de ensayo ASTM C138; el asentamiento se obtiene de acuerdo con la norma INTE C41, que es la norma nacional correspondiente al método de ensayo ASTM C143; el muestreo del concreto fresco se realiza según la norma INTE C17, que es la norma nacional correspondiente a la práctica ASTM C172 y finalmente, la temperatura se obtiene según la norma INTE C43, que es la norma nacional correspondiente al método de ensayo ASTM C1064 cada una de estas normas son analizadas en su respectiva sección. Por otra parte, el Departamento de Control de Calidad es el organismo de ensayo que evalúa, según la práctica ASTM C1077; después de realizada cada ensayo describe los resultados y datos requeridos en un libro de informes, según el ensayo realizada.

Los ensayos al concreto premezclado se realizan cuando el cliente así lo solicita, o cuando el pedido de concreto supera las dos o tres cargas de concreto premezclado, además, si el ensayo de asentamiento no cumple con lo especificado por el cliente se procede a ajustar la mezcla y se repite el ensayo para comprobar que cumpla con las especificaciones. Para el ensayo de resistencia se preparan cuatro cilindros por lote de muestra; un cilindro es para una de 3 días, otro para 7 días y los otros dos para una edad de 28 días. Se debe destacar que los primeros cilindros mencionados se preparan para obtener un comportamiento aproximado del concreto; es con el promedio de los dos cilindros de edad de 28 días que se determina si el concreto cumplió con lo esperado o no, esto debido a que es el procedimiento establecido por la empresa. En caso de que concreto analizado no cumpla con los requerimientos necesarios, la empresa se hace cargo de los gastos ya sea de remoción del concreto colocado o los debidos ajustes a la estructura, además del nuevo concreto por colocar.

El inspector de un laboratorio externo por parte de un cliente puede solicitar el ingresar a la planta de concreto premezclado para asegurar el cumplimiento de las normas y ensayos.

Los resultados de asentamiento por utilizar para evaluar las tolerancias se presentan en las tablas 23, 24, 25, 26 y 27.

Tabla 23. Resultado de los ensayo de asentamiento para un asentamiento requerido de 170 mm.

Asentamiento (mm)	Diferencia (mm)
160	10
160	10
180	10
170	0
170	0

Tabla 24. Resultado de los ensayo de asentamiento para un asentamiento requerido de 180 mm.

Asentamiento (mm)	Diferencia (mm)
180	0
180	0
170	10

Tabla 25. Resultado de los ensayo de asentamiento para un asentamiento requerido de 200 mm.

Asentamiento (mm)	Diferencia (mm)
210	10
200	0
200	0
200	0
200	0

Tabla 26. Resultado de los ensayo de asentamiento para un asentamiento requerido de 200 mm.

Asentamiento (mm)	Diferencia (mm)
190	10
190	10
200	0

Tabla 27. Resultado de los ensayo de asentamiento para un asentamiento requerido de 200 mm.

Asentamiento (mm)	Diferencia (mm)
200	0
210	10
200	0

En las figuras 108, 109, 110, 111, 112 de los anexos se puede observar el registro del laboratorio del Departamento de Control de Calidad.

Se destaca que, la planta de producción de concreto premezclado incumple en algunos aspectos descritos en la norma, los cuales se detallan en el análisis.

3.1.2.2 INTE C17 “Muestreo de concreto recién mezclado”

Se observó que el muestreo se realiza por el encargado de control de calidad no cumple en un aspecto, el es que la muestra de concreto premezclado es afectado por una fuente de evaporación que cual es el sol, donde impacta directamente en la muestra de concreto durante algunas horas del día, específicamente la más cercanas a las 12:00 p.m; esto se puede observar en la Figura 89 en el capítulo de apéndices.

De la misma forma, se observó el procedimiento realizado y el tamaño de la muestra en la planta. Para este caso, el tamaño de la muestra es definido por el carretillo utilizado, cuya capacidad supera ampliamente los 28 litros de volumen, se destaca que el carretillo utilizado es el mismo en todas los ensayos, por lo que para comprobar que cumpla con el volumen mínimo se asegura su capacidad antes de adquirir el equipo, pero para efectos de este proyecto no se verificó. Por otra parte, la muestra se obtiene luego de que se haya vertido todo el agua y aditivo necesario, además, se regula la velocidad de la descarga por medio de la rotación del tambor y direccionándolo por medio del canaleta, por lo que se determina que si cumple con lo especificado en la norma. Por otra parte, debido a que estas muestras se obtienen como parte del control de calidad interno de la empresa, se obtienen una vez finalizada la carga del camión en la planta. El procedimiento descrito anteriormente, se puede observar en la Figura 81, en el capítulo de apéndices.

3.1.2.3 INTE C43 “Medición de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado”

El equipo utilizado en este ensayo se constituye por un carretillo, el cual corresponde al recipiente que contiene la mezcla de concreto y un termómetro, que es el medidor de temperatura, el cual presenta suciedad en la partes exteriores, pero no afectan el funcionamiento de este. Este termómetro utilizado está certificado por DMI Metrología, este certificado contiene la descripción, el código, el certificado y la trazabilidad, así como la fecha de vencimiento. Todo los termómetros utilizados están debidamente calibrados una vez al año, además, estos cumplen con lo especificado en las normas. Este equipo se puede observar en las figuras 53 y 54 en el capítulo de apéndices y su certificado de calibración en las figuras 132 en el capítulo de anexos.

El muestreo del concreto realizado por el encargado de control de calidad no cumple en un aspecto, debido a que el termómetro se retira de la muestra antes del tiempo especificado en la norma. El procedimiento se puede observar en las figuras 55 y 56 en el capítulo de apéndices.

En las tablas 28, 29, 30, 31 y 32 se presentan los resultados de las mediciones de las temperaturas, así como las desviaciones estándar de estas mediciones y la máxima diferencia de las mediciones. Estas

muestras se obtuvieron del registro de control de calidad, el cual se puede encontrar en las figuras 108, 109, 110, 111 y 112 en el capítulo de anexos. No obstante, se debe indicar que las desviaciones estándares presentes en dichas tablas son de muestras diferentes del mismo diseño.

Tabla 28. Resultado de las mediciones de temperatura

Temperatura (°C)	Desviación estándar (°C)	Diferencia máxima(°C)
32.0	0.548	1.5
33.5		
33.0		
33.0		
33.0		

Tabla 29. Resultado de las mediciones de temperatura

Temperatura (°C)	Desviación estándar (°C)	Diferencia máxima(°C)
32.0	0	0
32.0		
32.0		

Tabla 30. Resultado de las mediciones de temperatura

Temperatura (°C)	Desviación estándar (°C)	Diferencia máxima(°C)
28.4	0.91	2
30.0		
29.0		
30.0		
28.0		

Tabla 31. Resultado de las mediciones de temperatura

Temperatura (°C)	Desviación estándar (°C)	Diferencia máxima(°C)
32	0	0
32		
32		

Tabla 32. Resultado de las mediciones de temperatura

Temperatura (°C)	Desviación estándar (°C)	Diferencia máxima(°C)
25	3.70	8.5
33.5		
31		
27.9		

3.1.2.4 INTE C41 “Asentamiento en el concreto del cemento hidráulico. Método de ensayo”.

Para este ensayo, el molde utilizado, como la mayoría del equipo utilizado, proviene de un fabricante dedicado a los productos para laboratorios, por lo que cumple y tiene todos los certificados necesarios para su uso en este ensayo. El equipo se puede observar en las figuras 49, 50 y 51 en el capítulo de apéndices, asimismo, se destaca que el equipo cumple con las especificaciones de la norma.

La muestra de concreto por utilizar se obtiene de acuerdo con la norma INTE C17

El procedimiento de este ensayo realizado por el encargado del departamento de control de calidad no cumple en un aspecto, el cual que en ocasiones la muestra de concreto premezclado presenta desplomes, pero este se puede deber a los aditivos utilizados en la mezcla. El procedimiento se puede observar en las figuras 58, 59, 60, 61, 62 y 63 en el capítulo de apéndices.

En las tablas 33, 34, 35, 36 y 37 se presentan los resultados de los ensayos de asentamiento, además de la desviación estándar y el rango de los resultados. Estas muestras se obtuvieron del registro de control de calidad, que se puede encontrar en las figuras 108, 109, 110, 111 y 112 en el capítulo de anexos. No obstante, se debe indicar que las desviaciones estándar y el rango aceptable de los resultados presentes en dichas tablas son de muestras diferentes del mismo diseño.

Tabla 33. Resultado de los ensayos de asentamiento, desviación estándar y rango de los resultados

Asentamiento (mm)	Desviación estándar (mm)	Rango de los resultados
210	4.47	10
200		
200		
200		
200		

Tabla 34. Resultado de los ensayo de asentamiento, desviación estándar y rango de los resultados

Asentamiento (mm)	Desviación estándar (mm)	Rango de los resultados
180	5.77	10
180		
170		

Tabla 35. Resultado de los ensayo de asentamiento, desviación estándar y rango de los resultados

Asentamiento (mm)	Desviación estándar (mm)	Rango de los resultados
160	8.37	20
160		
180		
170		
170		

Tabla 36. Resultado de los ensayo de asentamiento, desviación estándar y rango de los resultados

Asentamiento (mm)	Desviación estándar (mm)	Rango de los resultados
190	5.77	10
190		
200		

Tabla 37. Resultado de los ensayo de asentamiento, desviación estándar y rango de los resultados

Asentamiento (mm)	Desviación estándar (mm)	Rango de los resultados
200	5.00	10
210		
200		
200		

3.1.2.5 INTE 72 “Método para determinar la densidad (peso unitario) rendimiento y contenido de aire del concreto por método gravimétrico”

El equipo utilizado en este ensayo se constituye por una balanza, una varilla recta, lisa de forma circular, con una longitud de 600 mm y 15 de diámetro con ambos extremos redondeados, un mazo con cabeza de caucho con un peso aproximado de 450 g, un cucharón y un recipiente de acero con una capacidad de 9 litros; esto debido a que el tamaño máximo nominal del agregado es menos a 25 mm. Se debe destacar que todo el equipo utilizado está debidamente certificado para así cumplir con todas las especificaciones de la norma necesarias. Este equipo se puede observar en las figuras 49, 50, 82, 85, 87 y 88 en el capítulo de apéndices.

La muestra de concreto por utilizar se obtiene de acuerdo con la norma INTE C17

El procedimiento realizado por el encargado de control de calidad para este ensayo cumple con todas las especificaciones de la norma. El procedimiento se puede observar en las figuras 83, 84, 85, 86 y 87, en el capítulo de apéndices.

Los cálculos realizados cumplen con las especificaciones los cuales son para obtener la densidad y el rendimiento. La ecuación 9 es la utilizada para obtener la densidad y la ecuación 10 para obtener el

rendimiento. La M de la ecuación corresponde a la masa total de la mezcla de concreto en el camión mezclador.

$$D = (m_{\text{concreto}} - m_{\text{total}}) / v_{\text{recipiente}} \quad \text{Ec. 9}$$

$$R = M / D \quad \text{Ec. 10}$$

A continuación, en las tablas 38, 39, 40, 41 y 42 se presentan los resultados de los ensayos de gravedad específica y absorción:

Tabla 38. Resultados del ensayo de densidad (peso unitario) y rendimiento del concreto premezclado

Criterio (unidades)	Valor
Peso recipiente (kg)	5.525
Peso neto muestra (kg)	23.082
Volumen recipiente (m^3)	0.009985
Cantidad de cemento (kg)	1892
Cantidad de agua (kg)	660
Cantidad de arena (kg)	5360
Cantidad de piedra (kg)	5270
Suma total de mezcla (kg)	13182
Peso unitario (kg/m^3)	2311
Rendimiento (m^3)	5.704

Tabla 39. Resultados del ensayo de densidad (peso unitario) y rendimiento del concreto premezclado

Criterio (unidades)	Valor
Peso recipiente (kg)	5.525
Peso neto muestra (kg)	23.266
Volumen recipiente (m^3)	0.009985
Cantidad de cemento (kg)	1917
Cantidad de agua (kg)	750
Cantidad de arena (kg)	5943
Cantidad de piedra (kg)	5532
Suma total de mezcla (kg)	14212
Peso unitario (kg/m^3)	2330
Rendimiento (m^3)	6.0996

Tabla 40. Resultados del ensayo de densidad (peso unitario) y rendimiento del concreto premezclado

Criterio (unidades)	Valor
Peso recipiente (kg)	5.525
Peso neto muestra (kg)	23.214
Volumen recipiente (m^3)	0.009985
Cantidad de cemento (kg)	2123
Cantidad de agua (kg)	663
Cantidad de arena (kg)	5627
Cantidad de piedra (kg)	5564
Suma total de mezcla (kg)	13977
Peso unitario (kg/m^3)	2324
Rendimiento (m^3)	6.01

Tabla 41. Resultados del ensayo de densidad (peso unitario) y rendimiento del concreto premezclado

Criterio (unidades)	Valor
Peso recipiente (kg)	5.525
Peso neto muestra (kg)	23.266
Volumen recipiente (m^3)	0.009985
Cantidad de cemento (kg)	1905
Cantidad de agua (kg)	795
Cantidad de arena (kg)	5820
Cantidad de piedra (kg)	5748
Suma total de mezcla (kg)	14268
Peso unitario (kg/m^3)	2320
Rendimiento (m^3)	6.15

Tabla 42. Resultados del ensayo de densidad (peso unitario) y rendimiento del concreto premezclado

Criterio (unidades)	Valor
Peso recipiente (kg)	5.525
Peso neto muestra (kg)	23.214
Volumen recipiente (m^3)	0.009985
Cantidad de cemento (kg)	2644
Cantidad de agua (kg)	820
Cantidad de arena (kg)	7270
Cantidad de piedra (kg)	7210
Suma total de mezcla (kg)	17944
Peso unitario (kg/m^3)	2308
Rendimiento (m^3)	7.77

En la Tabla 43 se presenta la precisión los resultados de los ensayos de densidad.

Tabla 43. Precisión de los ensayos de densidad (peso unitario)

Peso unitario (kg/m^3)	Desviación estándar (kg/m^3)	Mayor diferencia entre resultados
2311	9.10	22
2330		
2324		
2320		
2308		

Se indica que la desviación estándar y el rango aceptable de los resultados se deben calcular de los resultados de la misma muestra y no de muestras distintas como en este caso.

En las figuras 120, 121, 135, 136 y 137 de los anexos se observa el registro del laboratorio del Departamento de Control de Calidad.

3.1.2.6 ASTM C470 “Standard Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically”

Los moldes para formar los cilindros para los ensayos de resistencia a la compresión son de polipropileno, estos son circulares, rectos con respecto al eje cilíndrico vertical, además, la parte superior es abierta para poder verter el concreto. Se debe destacar que estos moldes son impermeables y resistentes a romperse o a deformarse. Los moldes se pueden observar en las figuras 78, 79 y 80 en el capítulo de apéndices.

Los moldes son adquiridos a fabricantes dedicados a la comercialización de productos y equipos de laboratorio, por lo que están debidamente certificados, no obstante, al momento de comprar se verifica que cumplan con todas las mediciones establecidas por la norma correspondiente, y al instante en que se detecta que no cumplen o se encuentran en mal estado se desechan.

Los moldes son reutilizables, o sea, pueden usarse más de una vez. Son de dos piezas unidas por un par de bisagras, con una placa de base desmontable que se coloca en los espacios existentes en el molde, además de un par de cierres que aseguran el molde al momento del uso. El material del que están hechos impide la adherencia del concreto, además, impide la salida del agua de la mezcla.

Por último, se menciona que existen pequeñas fugas de agua al momento de conformarse los cilindros, las cuales no se consideran significativas, debido a que la cantidad es despreciable; por otro lado, los moldes no son sometidos a los ensayos de detección de fugas de agua, determinación de resistencia al daño y estabilidad dimensional, debido a que son desechados y sustituidos por nuevos al instante en que se determina que no son aptos para los ensayos, como se mencionó anteriormente. Según lo mencionado anteriormente, se determina que los moldes no cumplen con las especificaciones.

3.1.2.7 INTE C19 “Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo en el campo”

Para la realización de los cilindros de concreto se utilizan moldes reutilizables, los cuales son adquiridos de una empresa que se dedica a la fabricación de equipo para laboratorios, por lo que estos cumplen con requerimientos necesarios establecidos por la norma al momento de ponerse en uso, sin embargo, se debe considerar lo establecido en la sección anterior con respecto a dichos moldes. Los moldes utilizados son de plástico, estos se abren por la mitad para poder limpiarse, colocar el líquido desmoldante y la placa circular que conforma la base de donde se vierte el concreto; tanto esta placa como parte de los bordes superiores e inferiores son de acero. Los cilindros que se utilizan son de 100 mm por 200 mm en posición vertical. Por otra parte, la varilla de apisonamiento es de acero, recta, con forma transversal redonda, con ambas puntas redondeadas, con una longitud de 300 mm y un diámetro de 11 mm. Entre los materiales utilizados están: un

mazo con una cabeza de hule, una cuchara para verter el concreto dentro de los moldes, una llaneta para dar el acabado y un carretillo como recipiente de muestra. Este equipo cumple con lo especificado por la norma y se puede observar en las figuras 36, 50, 52, 81 y 88 en el capítulo de apéndices.

Los otros equipos utilizados para realización de los cilindros de concreto son: aparato de asentamiento el cual se evalúa con la norma INTE C41 y el dispositivo para medir la temperatura se evalúa con la norma INTE C43, además, los moldes cilíndricos deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C470 lo cual se presenta en la sección anterior.

Los técnicos de laboratorio que hacen y curan los especímenes para ensayos deben cumplir con los requisitos descritos en la norma ASTM C1077. Se debe destacar, que para cada muestra de concreto extraída, se hace el debido registro, donde se incluye el diseño del concreto, la cantidad de cilindros moldeados, la hora que se moldearon y la ubicación de donde se realizó la descarga. Las muestras de concreto obtenidas de los camiones mezcladores deben cumplir con lo especificado en la norma INTE C17.

Los procedimientos de los ensayos de asentamiento y temperatura se realizan siguiendo las especificaciones de la norma INTE C41 y INTE C43, respectivamente.

Los especímenes moldeados por el técnico de laboratorio cumplen con las especificaciones de la norma. El moldeo de especímenes se puede observar en las figuras 64, 65, 66, 67, 68 y 69 en el capítulo de apéndices.

Se destaca que los cilindros no cumplen con el curado inicial debido a que se dejan en el área donde fueron moldeados, donde luego son trasladados a su lugar de almacenamiento, para ser sumergidos completamente en agua en tanques de almacenamiento y se retiran hasta el momento de realizar los ensayos de resistencia a la compresión. Estos especímenes tampoco cumplen con el curado final debido a que en ocasiones se tarda hasta 24 horas o más en colocar los especímenes en los tanques de almacenamiento luego de retirar el molde, además, la temperatura en estos tanques de agua puede superar los 25°C en varios períodos del día, como se puede observar en la Figura 89 en el capítulo de apéndices.

El transporte de los especímenes al laboratorio se realiza por medio de un carretillo con ruedas neumáticas para absorber cualquier impacto con la superficie del suelo, además, la distancia aproximada entre el lugar donde se moldean y donde se almacenan es de 200 metros, por lo que estos no son protegidos para prevenir la pérdida de humedad.

3.1.2.8 ASTM C39 “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”

El equipo utilizado para este ensayo no cumple con las especificaciones de la norma, debido a que no se determina el promedio de los cilindros diariamente. Por otra parte, debe destacar que el resto del equipo utilizado en este ensayo está debidamente calibrado y certificado para cumplir con todos los requerimientos

necesarios que establece la norma ASTM C39 y ASTM C1077. El certificado de la calibración de la máquina de ensayos se puede observar en las figuras 133 y 134 en el capítulo de anexos, además, el equipo utilizado se puede observar en las figuras 71, 72, 73, 74, 75 y 76.

El procedimiento realizado para determinar la resistencia a la compresión de los especímenes no cumple con las especificaciones de la norma, debido a que se excede con las tolerancias máximas admisibles.

Los cálculos son realizados automáticamente por el indicador de carga una vez finalizada el ensayo, para eso es necesario, antes de iniciar la falla, ingresar datos como: área, largo, ancho, sensibilidad, peso, edad y velocidad, así como las unidades. Parte del proceso se puede observar en la Figura 77 en el capítulo de apéndices.

Al momento de finalizada el ensayo se reporta debidamente con la siguiente información: identificación de espécimen, carga máxima en kilo newtons, resistencia a la compresión, el promedio de los dos cilindros fallados a 28 días, tipo de fractura y la edad del espécimen.

A continuación, se presentan las tablas 44, 45, 46, 47 y 48 con los datos obtenidos de los ensayos de resistencia a diferentes diseños de concreto, el respectivo promedio, desviación estándar y la diferencia máxima entre las dos ensayos en proporción con el promedio. En el indicador de diseño, el primer valor señala la resistencia f'_c esperada a los 28 días y el segundo es la cantidad de cemento por metro cúbico.

Tabla 44. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de cilindros con diseño 180-280

Fecha de moldeo	Resistencia (MPa)	Resistencia (MPa)	Promedio (MPa)	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	Diferencia máxima (%)
7/8/2023	19.01	20.68	19.84	8.5	4.20	8.4
8/8/2023	22.34	22.74	22.54	2	0.87	1.7
9/8/2023	22.93	24.01	23.47	5.5	2.30	4.6
10/8/2023	18.72	19.012	18.86	1.5	0.78	1.6
16/8/2023	22.05	20.38	21.22	8.5	3.93	7.9
17/8/2023	20.29	18.72	19.50	8	4.02	8.0
25/8/2023	19.50	21.76	20.63	11.5	5.46	10.9
29/8/2023	13.33	13.72	13.52	2	1.45	2.9
31/8/2023	23.81	21.07	22.44	14	6.11	12.2

Tabla 45. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de cilindros con diseño 210-300

Fecha de moldeo	Resistencia (MPa)	Resistencia (MPa)	Promedio (MPa)	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	Diferencia máxima (%)
31/7/2023	24.30	22.25	23.27	10.5	4.4	8.8
31/7/2023	28.03	29.50	28.76	7.5	2.6	5.1
2/8/2023	23.72	22.05	22.88	8.5	3.6	7.3
2/8/2023	25.48	25.87	25.68	2	0.8	1.5
10/8/2023	20.58	21.95	21.267	7	3.2	6.5
21/8/2023	23.13	21.66	22.39	7.5	3.3	6.6

Tabla 46. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de cilindros con diseño 210-315

Fecha de moldeo	Resistencia (MPa)	Resistencia (MPa)	Promedio (MPa)	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	Diferencia máxima (%)
28/7/2023	26.85	28.52	27.68	8.50	3.0	6.0
7/8/2023	22.25	20.68	21.46	8.00	3.7	7.3
11/8/2023	20.68	23.13	21.90	12.50	5.6	11.2
30/8/2023	30.97	32.05	31.51	5.50	1.7	3.4
4/9/2023	24.01	26.07	25.04	10.50	4.1	8.2
1/9/2023	22.05	21.95	22.00	0.50	0.2	0.4
6/9/2023	20.38	19.21	19.77	6.00	3.0	5.9

Tabla 47. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de cilindros con diseño 280-350

Fecha de moldeo	Resistencia (MPa)	Resistencia (MPa)	Promedio (MPa)	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	Diferencia máxima (%)
27/7/2023	35.77	35.97	35.87	1.00	0.3	0.5
28/7/2023	33.22	36.06	34.64	14.50	4.1	8.2
3/8/2023	24.30	25.87	25.09	8.00	3.1	6.3
8/8/2023	25.09	26.66	25.87	8.00	3.0	6.1
10/8/2023	28.62	29.30	28.96	3.50	1.2	2.4
11/8/2023	28.22	29.99	29.11	9.00	3.0	6.1
15/8/2023	32.63	34.30	33.47	8.50	2.5	5.0
18/8/2023	31.75	30.38	31.07	7.00	2.2	4.4
25/8/2023	30.38	29.69	30.04	3.50	1.1	2.3

Tabla 48. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de cilindros con diseño 315-405

Fecha de moldeo	Resistencia (MPa)	Resistencia (MPa)	Promedio (MPa)	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	Diferencia máxima (%)
29/7/2023	45.08	44.49	44.77	3.00	0.7	1.3
8/8/2023	31.75	32.73	32.24	5.00	1.5	3.0
16/8/2023	33.03	33.12	33.07	0.50	0.1	0.3
19/8/2023	31.65	33.22	32.43	8.00	2.4	4.8
5/9/2023	32.93	31.16	32.05	9.00	2.8	5.5

En las figuras 138, 139, 140, 141 y 142 de los anexos se observa el registro del laboratorio del Departamento de Control de Calidad.

3.1.2.9 ASTM C1077 “Standard Practice for Agencies Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Testing Agency Evaluation”.

El supervisor del Departamento de Control de Calidad es un ingeniero en producción industrial matriculado y colegiado, con más de 20 años de experiencia en ensayos de materiales de construcción, además, cuenta con un certificado de la American Concrete Institute, el cual se puede observar en la Figura 113 del capítulo de anexos.

Todo el personal técnico que realiza los ensayos de laboratorio está certificado para realizar todas los ensayo existentes, como ASTM C39, ASTM C78, ASTM C117, ASTM C128, ASTM C136, ASTM C31, ASTM C172, ASTM C13, ASTM C143, ASTM C173, ASTM C231, ASTM C29, ASTM C33, ASTM C470, ASTM C566 y ASTM C1064. El programa de certificación de los técnicos es otorgado por CEMEX, el cual incluye un examen escrito, donde deben explicar ampliamente cada aspecto del ensayo, como muestreo, procedimiento, cálculos, entre otros aspectos; además, incluye un examen de desempeño donde se debe desarrollar el ensayo en su totalidad. Se debe destacar que estas certificaciones no superan los 5 años. Este certificado se puede observar en la Figura 114 del capítulo de anexos.

La mayor parte del equipo utilizado en los ensayos de laboratorio está debidamente certificado por entes certificadores. Entre los equipos certificados destacan la máquina de ensayos, los tamices, así como su precisión, el agitador mecánico de tamices, termómetros, balanza, entre otros. Así, de igual manera, todo este equipo es calibrado y verificado antes de ponerse en servicio, al igual que cada vez que se dude de sus resultados. Algunas de las calibraciones se pueden observar en las figuras 132, 133 y 134 del capítulo de anexos. Debe destacarse que los tamices cuentan con certificación para el cumplimiento de la Especificación E11.

Este laboratorio cuenta con los registros de todos los informes emitidos, donde se incluye el procedimiento por realizar, identificación y registro de los resultados. Además, los informes de calibración realizados por los entes certificadores, los cuales incluyen la identificación del equipo por calibrar y calibrador, nombre de la persona que realizó la calibración, fecha y las tolerancias. Se tiene también registro de la experiencia laboral, capacitaciones y métodos utilizados de todo el personal técnico, así como los resultados de los programas de muestras de aptitud. Dentro del laboratorio existen bibliotecas donde se archivan todos los informes de los ensayos, así como los métodos de ensayos estándar por realizarse. El laboratorio, además, cuenta con un inventario de todo el equipo que dispone.

El laboratorio cuenta con manuales de calidad de los procedimientos donde cada página incluye la fecha de preparación, así como un inventario de todos los equipos que requieren una calibración tanto inicial como periódica. Como parte del sistema de calidad, el personal participa en programas de muestras de aptitudes del concreto como del agregado para el concreto. Además, este cuenta con un procedimiento, en caso de que se determine que algún equipo está fuera de servicio, ya sea por calibración o que se considere deficiente. El procedimiento señala que el equipo está fuera de servicio y se descartan todas los ensayos que se pudieron ver afectadas con él, en caso de ser necesario; finalmente, se entrega el equipo técnico para tenerlo en el laboratorio lo más pronto posible.

El departamento de control de calidad, cumple con todos los aspectos abarcados en esta sección según las especificaciones de la norma.

3.1.3 Aditivos

En los ensayos de aditivos se utiliza una mezcladora, baldes para transportar el agregado y el cemento y para realizar la medición de la cantidad necesaria para la mezcla. Se realiza el ensayo C566 de humedad evaporable del agregado, para determinar el contenido de humedad de los agregados; luego con este dato, se ajusta el diseño de mezcla para utilizar la cantidad de agua necesaria para la mezcla. Se procede a medir las cantidades de materiales por utilizar, se vierte agua dentro de la mezcladora y se retira, para luego verter la piedra, cemento y un poco de agua; se continua con toda la arena y se termina de verter toda el agua.

Una vez que los materiales estén debidamente mezclados, se procede a realizar el ensayo de asentamiento según la INTE C41, antes de verter el aditivo y se vuelve a realizar después de verter el aditivo. Además, se puede volver a realizar entre 20 y 30 minutos para observar el desempeño del aditivo en el concreto. Por último, se conforman los cilindros según lo establecido por la norma ASTM C39.

En las tablas 49, 50, 51 y 52 se presentan los resultados de los ensayos realizadas para conocer el desempeño de los aditivos SH Ergo R175 y SH Fluxi RDS los cuales son plastificantes. Las tablas 49 y 51 muestran la fecha en que se realizaron los ensayos, el diseño de mezcla que se determina por la resistencia en kg/cm^2 por alcanzar a los 28 días, además, los resultados de los ensayos a los cilindros a los 28 días, el promedio y desviación estándar obtenidos, así como la dosificación del agua, cemento, piedra cuarta y piedra

quinta. Por otra parte, las tablas 50 y 52 contienen el aire incluido de la mezcla, el aditivo utilizado en el ensayo, los resultados de los ensayos de asentamiento y el agua sobrante. El agua sobrante es aquella que no se necesitó para determinar que la mezcla estaba preparada para iniciar los ensayos.

Tabla 49. Resultados y dosificación del ensayo de los aditivos SH Ergo R175 y SH Fluxi RDS

Fecha moldeo	Diseño	Resistencia (MPa)	Resistencia (MPa)	Promedio (MPa)	Desviación estándar	Cemento (kg)	Agua (kg)	Piedra 4ta (kg)	Arena rio (kg)
22/8/2023	280	24.32	24.91	24.61	3.00	8.12	3.30	26.40	27.90
22/8/2023	280	29.22	28.73	28.98	2.50	8.12	3.30	26.40	27.90

Tabla 50. Resultados y datos adicionales del ensayo los aditivos SH Ergo R175 y SH Fluxi RDS

Aire incluido	Aditivo	A/C	Asentamiento sin aditivo (mm)	Asentamiento con aditivo (mm)	Asentamiento a los 20 min (mm)	Asentamiento a los 30 min (mm)	Agua sobrante (kg)
1.3	R175	0.41	85	210	135	-	0.00
1.3	Fluxi RDS	0.41	80	220	185	175	0.00

Tabla 51. Resultados y dosificación del ensayo de los aditivos SH Ergo R175 y SH Fluxi RDS

Fecha moldeo	Diseño	Resistencia (MPa)	Resistencia (MPa)	Promedio (MPa)	Desviación estándar	Cemento (kg)	Agua (kg)	Piedra 4ta (kg)	Arena rio (kg)
29/8/2023	280	25.79	24.03	24.91	9.00	8.12	2.840	26.40	27.90
29/8/2023	280	23.24	23.63	23.44	2.00	8.12	1.98	26.40	27.90

Tabla 52. Resultados y datos adicionales del ensayo de los aditivos SH Ergo R175 y SH Fluxi RDS

Aire incluido	Aditivo	A/C	Asentamiento sin aditivo (mm)	Asentamiento con aditivo (mm)	Asentamiento a los 20 min (mm)	Asentamiento a los 30 min (mm)	Agua sobrante (kg)
1.3	R175	0.35	-	215	205	190	0.76
1.3	Fluxi RDS	0.24	-	215	180	-	1.62

En las figuras 122, 123, 124 y 125 de los anexos se observa el registro de los resultado de los ensayo a los aditivos realizados por el laboratorio del Departamento de Control de Calidad.

3.2 Productividad

Esta sección presenta los resultados del proceso de elaboración de concreto premezclado, el cual se compone de la medición de los tiempos de los tipos de trabajo o carta de balance, el diagrama de recorrido y el Value Stream Mapping. Se destaca que como se mencionó, la productividad de la planta es determinada con base en los indicadores, estos son calidad del producto, volumen de concreto premezclado solicitado por el cliente y los tiempos de productividad, específicamente, los tiempos de trabajo no contributivo, donde los primeros dos aspectos son abarcados anteriormente, pero pueden verse reflejados también en las mediciones y diagramas del proceso de producción.

3.2.1 Medición de los tiempos de los tipos de trabajos (carta de balance)

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de las mediciones de los tiempos de los trabajos de productividad, que, como se mencionó con anterioridad, son: trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC). Para la realización de las mediciones se siguió el método descrito en el marco metodológico.

Para efectuar las mediciones de los tiempos se necesitó de un cronómetro y las hojas previamente elaboradas. Para este caso se utilizó el cronómetro del teléfono celular personal y las hojas se elaboraron en Excel, por la facilidad con que se podían escribir las fórmulas.

La medición de una carga iniciaba cuando se empezaban a cargar las tolvas y el operador apuntaba en el registro los datos iniciales de dicha carga, al mismo tiempo, el chofer del camión mezclador aceleraba las revoluciones del tanque, pero desconocen cuales son las revoluciones adecuadas para el mezclado de los materiales. Una vez que los materiales se colocaban dentro del tanque se detenía el cronómetro, y cuando se volvían a cargar las tolvas se volvía a iniciar, así sucesivamente hasta que todo el material fuese colocado en el tanque. Se esperaban unos segundos para que los materiales se mezclaran y se homogenizaran, para, finalmente, que el encargado de control de calidad realizara una inspección visual a la mezcla de concreto y así verificar que este tuviera la consistencia solicitada aproximada. Se destaca que cada proceso de cargado de material al tanque se dividía aproximadamente entre 3 y 4 *batches* de material, por lo que se iniciaba con la subcarga de arena, piedra, agua y cemento, se llenaban las tolvas de los materiales y se repetía el proceso de colocado de material dentro del tanque, hasta que todo el material requerido se estuviera mezclando. Para la separación de los tiempos de cada tipo de trabajo, estos se registraban por separado y una vez finalizada la carga, se sumaban según el tipo de trabajo. Para el trabajo contributivo se dividió de la siguiente forma: el cargado de tolvas y el apunte de datos por parte del operador de la planta dosificadora, la inspección realizada a la mezcla de concreto por el encargado del control de calidad, las indicaciones que daba el operador a los choferes, cuando fuere necesario, y por último, los tiempos de espera para asegurar que los materiales se

hubieran mezclado correctamente; por otra parte, el trabajo no contributivo se dividió en: errores o fallas, ya sea del operador o propiamente de la planta de dosificación y los tiempos de charla.

En las tablas 53, 54, 55 y 56 se presentan los resultados de las mediciones de los trabajos de productividad, según el diseño de mezcla y la cantidad de concreto cargado en metros cúbicos. En estas tablas se muestra la fecha y duración de cada medición, además de los tiempos de cada tipo de trabajo y el respectivo porcentaje que representa cada trabajo del tiempo total de duración, así como el desglose de cada uno de los tipos de trabajo; por último, el promedio de cada columna de información. El tiempo medido se presenta en un formato 00:00, donde los primeros dos dígitos representan los minutos y los siguientes dos representan los segundos.

Se destacan con letra color rojo las actividades críticas, dicho en otras palabras, las actividades que tienen mayor importancia en el proceso de producción, esto debido a que de estas actividades están vinculadas directamente con los aspectos que se determinan la productividad de la planta, donde del pesaje y medición de los materiales depende el volumen de concreto premezclado entregado al cliente y del tiempo de mezclado depende la representatividad de las muestras del producto para el análisis de cumplimiento de las especificaciones, por otra parte, no se destaca en letra roja los tiempos de los trabajos no contributivos, debido a que son actividades que deben ser reducidas.

Tabla 53. Resultados de la medición de los tiempos de los trabajos de productividad del diseño 210-284-B con cargas de 6 m³

Fecha	Duración	Tiempos						Trabajo contributivo				Trabajo no contributivo	
		TP	%	TC	%	TNC	%	Carga de tolva y apunte de datos	Inspección	Indicaciones	Esperas	Errores o fallas	Charlas
4/9/23	14:00	06:28	46.2	07:12	51.4	00:20	2.4	02:48	03:32	00:15	00:37	00:00	00:20
4/9/23	20:00	05:23	26.9	14:37	73.1	00:00	0.0	12:10	01:27	00:00	01:00	00:00	00:00
5/9/23	15:00	05:43	38.1	09:17	61.9	00:00	0.0	07:37	01:40	00:00	00:00	00:00	00:00
5/9/23	13:00	06:27	49.7	06:33	50.3	00:00	0.0	05:38	00:55	00:00	00:00	00:00	00:00
13/9/23	09:00	05:30	61.1	03:30	38.9	00:00	0.0	02:49	00:41	00:00	00:00	00:00	00:00
13/9/23	08:00	04:59	62.3	03:01	37.7	00:00	0.0	02:28	00:33	00:00	00:00	00:00	00:00
13/9/23	10:00	05:20	53.3	04:15	42.5	00:25	4.2	03:07	00:43	00:00	00:25	00:00	00:25
28/9/23	14:00	05:10	36.9	08:50	63.1	00:00	0.0	04:51	02:36	00:00	01:23	00:00	00:00
28/9/23	12:00	05:42	47.5	06:18	52.5	00:00	0.0	03:00	00:38	00:00	02:40	00:00	00:00
Promedio	12:47	05:38	46.9	07:04	52.4	00:05	0.7	04:56	01:25	00:02	00:41	00:00	00:05

Tabla 54. Resultados de la medición de los tiempos de los trabajos de productividad del diseño TB-50-65-75/284 con cargas de 6 m³

Fecha	Duración	Tiempos						Trabajo contributivo				Trabajo no contributivo	
		TP	%	TC	%	TNC	%	Carga de tolva y apunte de datos	Inspección	Indicaciones	Esperas	Errores o fallas	Charlas
13/9/23	10:00	04:11	41.9	00:0	58.1	00:00	0.0	04:52	00:37	00:00	00:20	00:00	00:00
13/9/23	10:00	05:14	52.3	00:0	47.7	00:00	0.0	02:43	01:03	00:00	01:00	00:00	00:00
13/9/23	11:00	05:47	52.6	00:0	47.4	00:00	0.0	04:03	00:30	00:00	00:40	00:00	00:00
13/9/23	10:00	05:38	56.3	00:0	43.7	00:00	0.0	02:02	01:20	00:00	01:00	00:00	00:00
13/9/23	10:00	06:33	65.5	00:0	34.5	00:00	0.0	02:17	00:20	00:00	00:50	00:00	00:00
13/9/23	09:00	06:06	67.7	00:0	32.3	00:00	0.0	02:05	00:16	00:00	00:33	00:00	00:00
13/9/23	10:00	04:18	43.0	00:0	57.0	00:00	0.0	02:05	03:17	00:00	00:20	00:00	00:00
Promedio	10:00	05:24	54.2	00:0	45.8	00:00	0.0	02:52	01:03	00:00	00:40	00:00	00:00

Tabla 55. Resultados de la medición de los tiempos de los trabajos de productividad del diseño 280-284-A con cargas de 7 m³

Fecha	Duración	Tiempos						Trabajo contributivo				Trabajo no contributivo	
		TP	%	TC	%	TNC	%	Carga de tolva y apunte de datos	Inspección	Indicaciones	Esperas	Errores o fallas	Charlas
5/9/2023	13:00	06:30	50.0	06:30	50.0	00:00	0.0	03:30	01:48	00:00	01:12	00:00	00:00
5/9/2023	16:00	09:10	57.3	06:50	42.7	00:00	0.0	05:22	00:58	00:00	00:30	00:00	00:00
Promedio	14:30	07:50	53.6	06:40	46.4	00:00	0.0	04:26	01:23	00:00	00:51	00:00	00:00

Tabla 56. Resultados de la medición de los tiempos de los trabajos de productividad del diseño 280-284-B con cargas de 7 m³

Fecha	Duración	Tiempos						Trabajo contributivo				Trabajo no contributivo	
		TP	%	TC	%	TNC	%	Carga de tolva y apunte de datos	Inspección	Indicaciones	Esperas	Errores o fallas	Charlas
28/9/2023	11:00	05:13	47.4	05:47	52.6	00:00	0.0	04:02	00:15	00:00	01:30	00:00	00:00
28/9/2023	12:00	05:33	46.3	06:27	53.8	00:00	0.0	04:09	01:03	00:00	01:15	00:00	00:00
Promedio	11:30	05:23	46.8	06:07	53.2	00:00	0.0	04:05	00:39	00:00	01:23	00:00	00:00

En las figuras 5, 7, 9 y 11 se presentan gráficas circulares con los correspondientes porcentajes de los trabajos productivos, contributivos y no contributivos de cada diseño de mezcla y volumen de carga. Así también, en las figuras 6, 8, 10 y 12 se muestra en gráficas de columnas 3D apiladas, la distribución de cada trabajo realizado. Se elaboran estos gráficos con la finalidad de presentar de manera sencilla los resultados obtenidos en esa sección.

Figura 5. Distribución de los tipos de trabajo del diseño de mezcla 210-284-B con cargas de 6 m^3

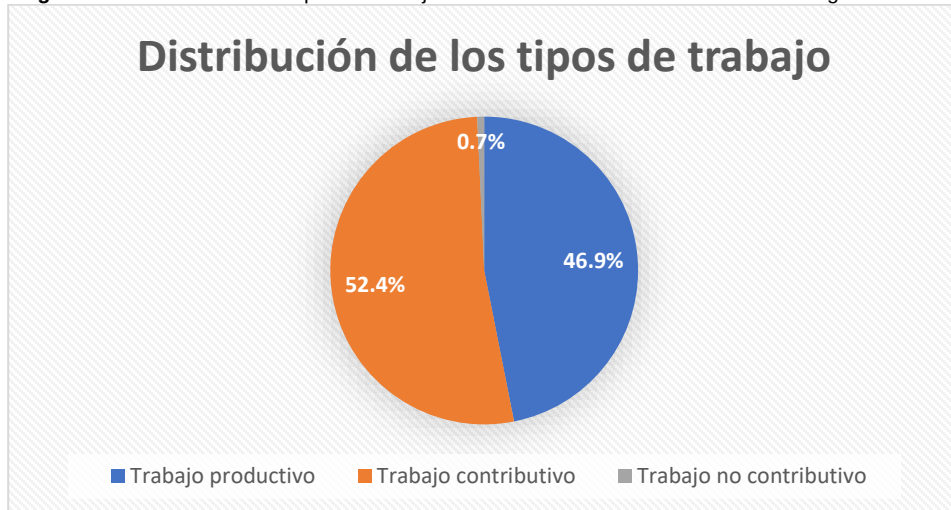


Figura 6. Distribución de los trabajos realizados del diseño de mezcla 210-284-B con cargas de 6 m³

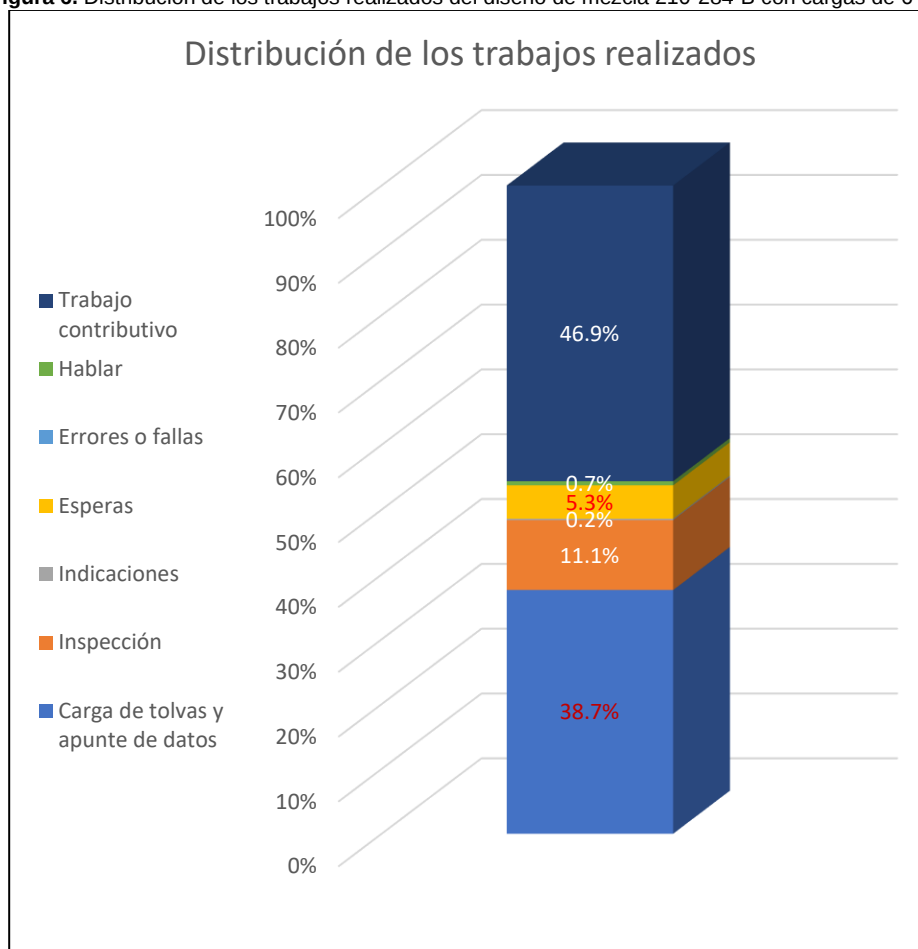


Figura 7. Distribución de los tipos de trabajo del diseño de mezcla TB-50-65-75/284 con cargas de 6 m³

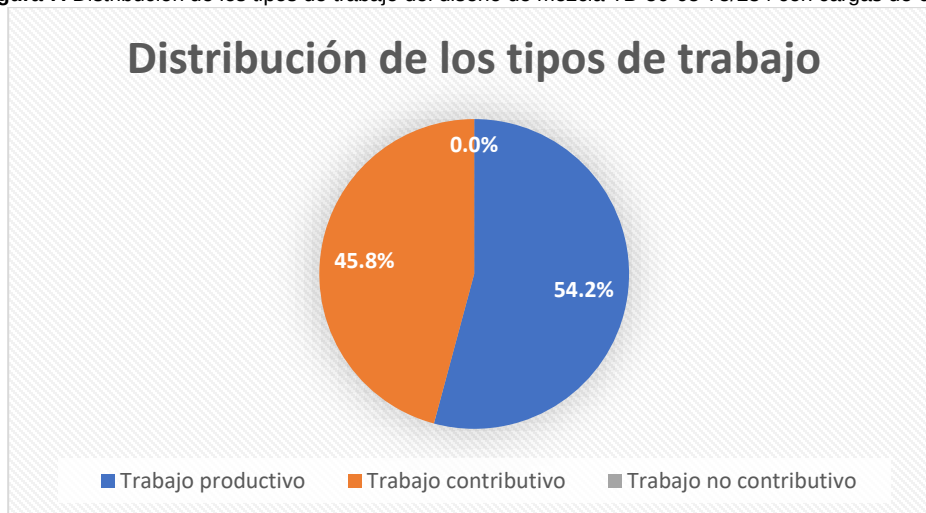


Figura 8. Distribución de los trabajos realizados del diseño de mezcla TB-50-65-75/284 con cargas de 6 m^3 .

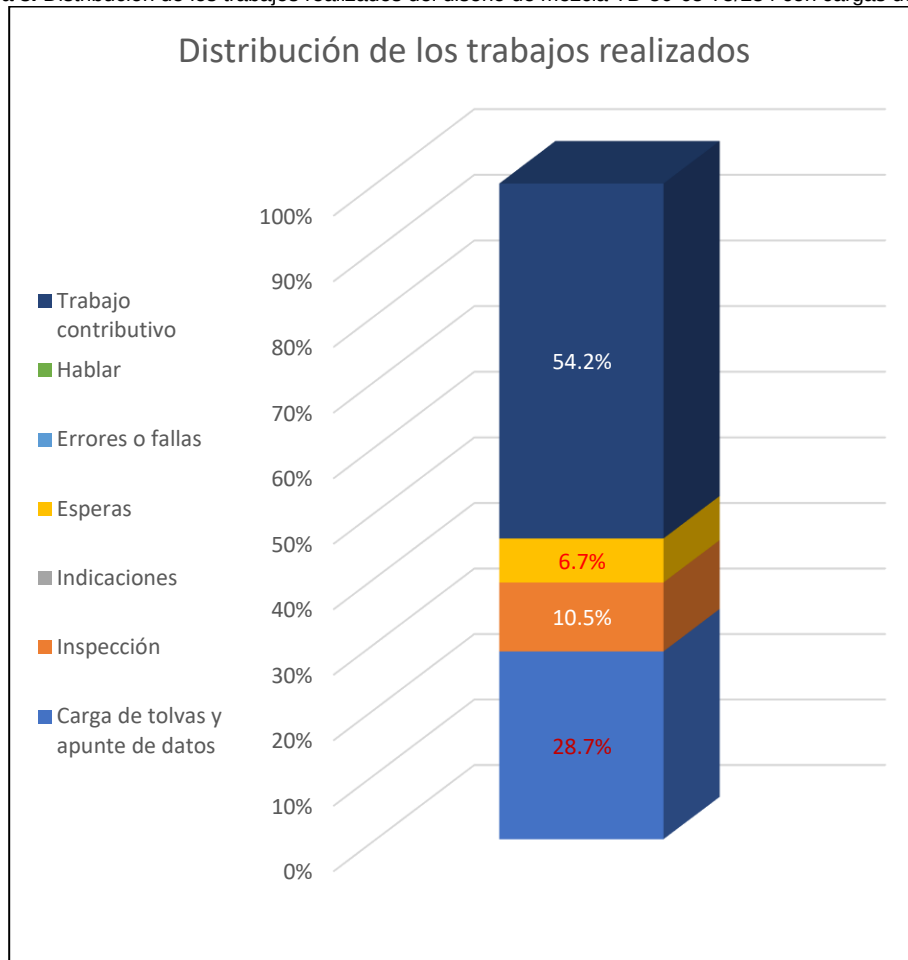


Figura 9. Distribución de los tipos de trabajo del diseño de mezcla 280-284-A con cargas de 7 m³

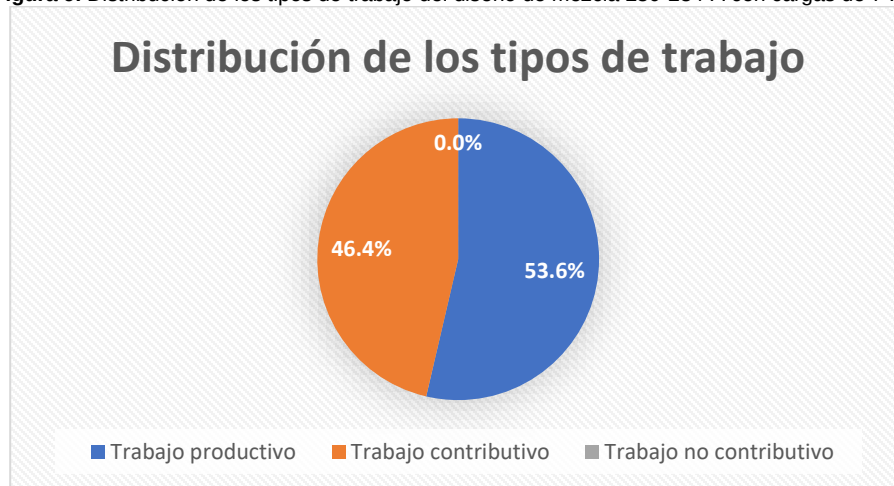


Figura 10. Distribución de los trabajos realizados del diseño de mezcla 280-284-A con cargas de 7 m³

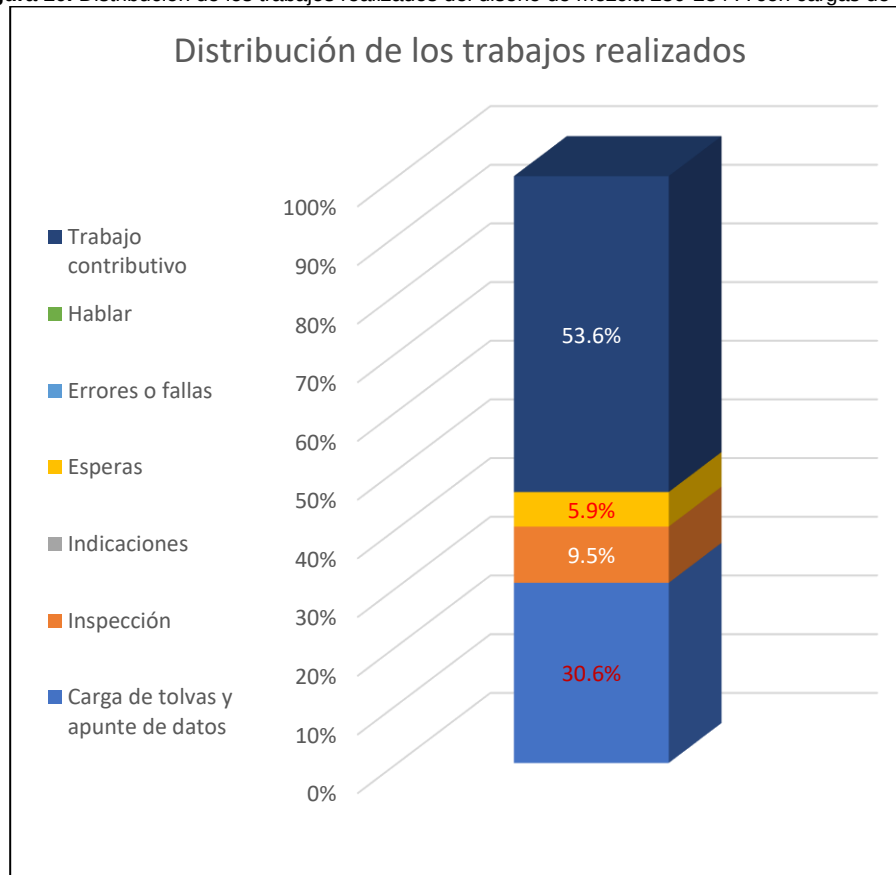


Figura 11. Distribución de los tipos de trabajo del diseño de mezcla 280-284-B con cargas de 7 m³

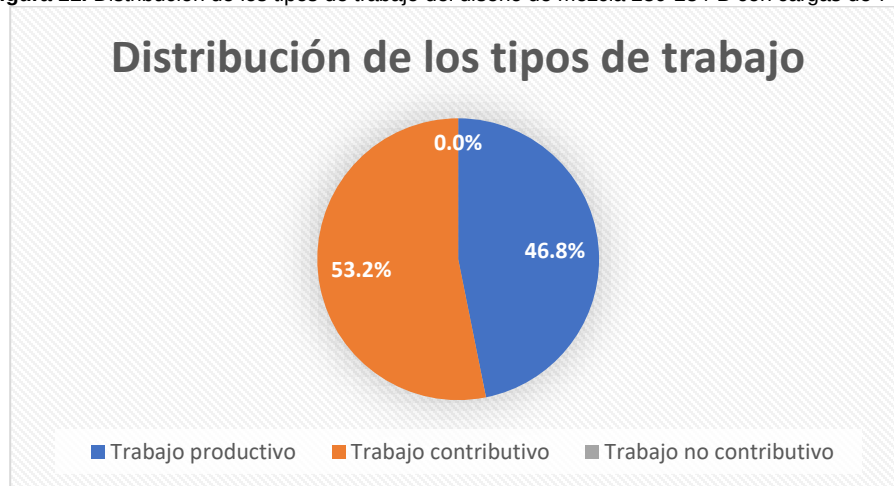
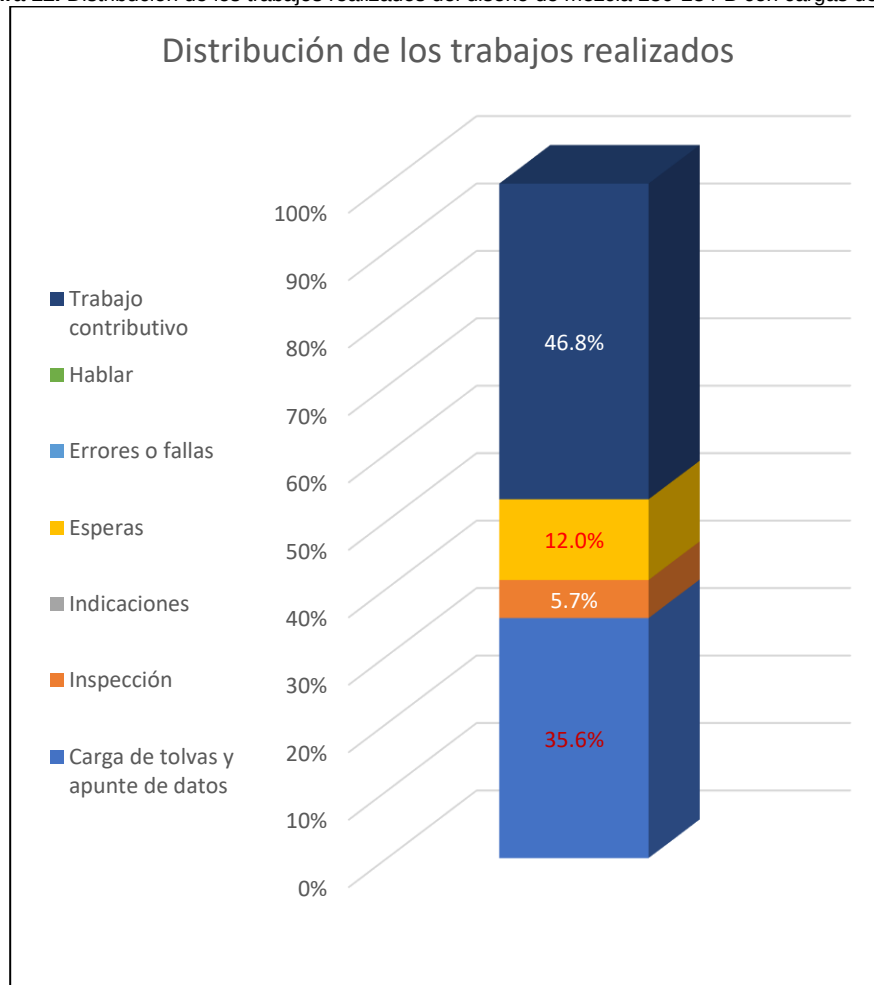


Figura 12. Distribución de los trabajos realizados del diseño de mezcla 280-284-B con cargas de 7 m³

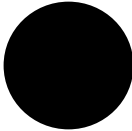
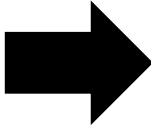


3.2.2 Diagrama de recorrido

Para una representación más clara del proceso de elaboración de concreto premezclado realizado en la planta de producción de la empresa Concrepal en Barranca, se utilizaron los diagramas de recorrido, donde se presenta la ubicación aproximada de las partes que componen la planta de producción, así como el flujo de materiales y del personal. La simbología utilizada en estos diagramas se presenta en el cuadro 16, donde cada actividad como operación, traslado, espera, inspección y almacenamiento tienen un respectivo símbolo.

De la misma manera en que se destacaron las actividades críticas en las mediciones de productividad con las cartas de balance, se hizo también en los cuadros de descripción de los diagramas de recorrido.

Cuadro 16. Simbología del diagrama de recorrido

Actividad	Símbolo
Operación	
Traslado	
Esperas	
Almacenamiento	
Inspección	

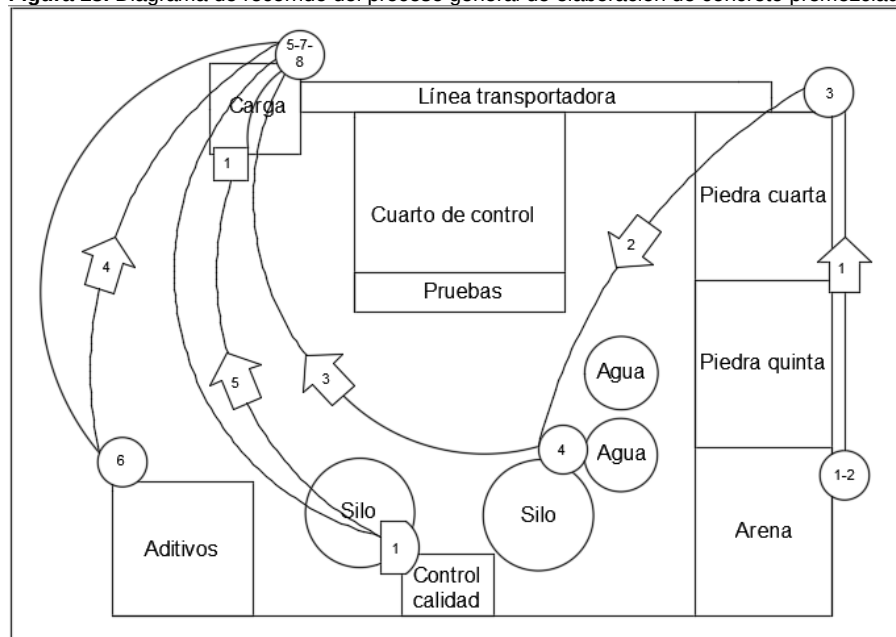
En las figuras 13 y 14 se muestran los diagramas de recorrido. En este caso, se presentan dos; un primer diagrama general con un solo *batch* de carga de material y otro donde se contemplan los *batches* que generalmente son necesarios para cargar todos los materiales usados para la mezcla.

Además, se presenta la descripción de cada uno de los diagramas, tanto el general como el dividido por *baches*, respectivamente en los cuadros 17 y 18; en estos se encuentra la actividad realizada y su descripción.

En el diagrama de la Figura 13, el proceso se inicia en la operación 1, luego se procede con el pesaje de la arena en la tolva, después se continúa con el pesaje de la piedra cuarta en la tolva que es el agregado grueso utilizado en casi la totalidad de las mezclas; se continúa con el pesaje y cargado del cemento y la medición del agua. El material es cargado en el tanque del camión mezclador apenas la tolva se haya cargado con el material indicado, se procede con la medición y cargado del aditivo el cual se determina a partir de un tanque dentro del cuarto de control y luego se vierte en el tanque. Los materiales se dejan mezclando cierto tiempo, finalmente, el encargado de control de calidad revisa la mezcla, para determinar si está para ser entregada o si necesita ser ajustada.

Se destaca que, dentro de las figuras de los diagramas se presenta el número de la actividad realiza, cada actividad es descrita según la figura en los cuadros descriptivos.

Figura 13. Diagrama de recorrido del proceso general de elaboración de concreto premezclado

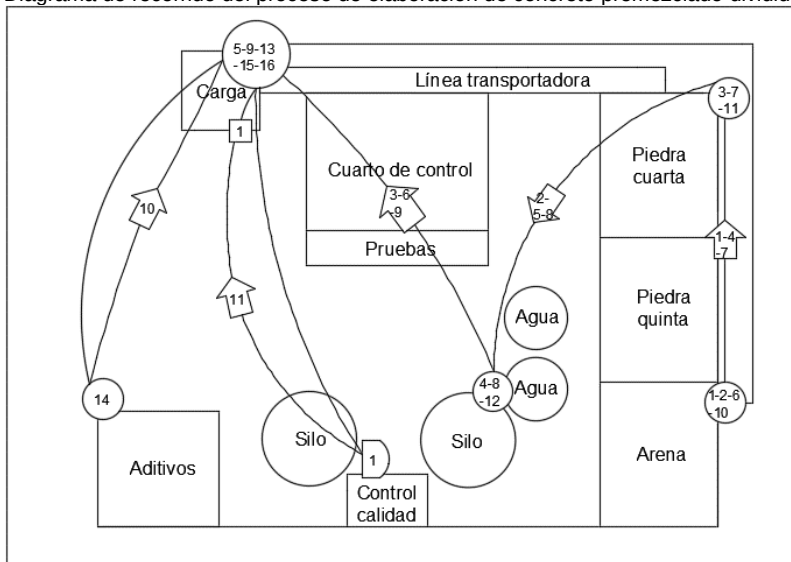


Cuadro 17. Descripción del diagrama de recorrido del proceso general de elaboración de concreto premezclado

Actividad	Descripción
Operación 1	Inicio del proceso
Operación 2	Pesado de arena
Traslado 1	Traslado de arena a la zona de carga de tanque
Operación 3	Pesado de piedra cuarta
Traslado 2	Traslado de piedra cuarta a la zona de carga de tanque
Operación 4	Pesado de cemento y agua
Traslado 3	Traslado de agua y cemento a la zona de carga de tanque
Operación 5	Cargado de tanque de mezclado con piedra cuarto, arena, cemento y agua
Operación 6	Medición y cargado de aditivo
Traslado 4	Traslado de aditivo a la zona de carga de tanque
Operación 7	Cargado de tanque de mezclado con aditivo
Espera 1	Espera de mezclado de materiales
Traslado 5	Traslado del encargado de control de calidad a la zona de carga de tanque
Inspección 1	Inspección de la mezcla de concreto premezclado
Operación 8	Fin del proceso

En el diagrama de la Figura 14, el proceso es similar al de la figura anterior, con la excepción de que en esta el cargado de materiales se divide por *baches*. El proceso inicia en la operación 1, se procede a pesar la arena en la tolva, luego la piedra cuarta, el cemento y el agua; se destaca que el material es cargado en el tanque del camión mezclador luego de que se haya cargado la tolva. Esta sección del proceso en que se cargan las tolvas y se carga en el tanque se le llama *bache*, generalmente, la mezcla de entre 6 y 7 m^3 requiere de entre 3 a 4 *baches* de material, por lo que en el diagrama de la Figura 10 se representan 3 *baches*. Luego de que todos los materiales hayan sido colocados se procede con la medición y cargado de los aditivos para ser vertidos en el tanque mezclador; se continúan mezclando todos los materiales por un período y finalmente el encargado de control de calidad realiza la revisión para dar el visto bueno de la mezcla o solicitar que se ajuste y así despachar el camión mezclador al sitio de descarga.

Figura 14. Diagrama de recorrido del proceso de elaboración de concreto premezclado dividido por batches



Cuadro 18. Descripción del diagrama de recorrido del proceso de elaboración de concreto premezclado dividido por batches

Actividad	Descripción
Operación 1	Inicio del proceso
Operación 2	Pesado de arena
Traslado 1	Traslado de arena a la zona de carga de tanque
Operación 3	Pesado de piedra cuarta
Traslado 2	Traslado de piedra cuarta a la zona de carga de tanque
Operación 4	Pesado de cemento y medición de agua
Traslado 3	Traslado de agua y cemento a la zona de carga de tanque
Operación 5	Cargado de tanque de mezclado con piedra cuarto, arena, cemento y agua
Operación 6	Pesado de arena
Traslado 4	Traslado de arena a la zona de carga de tanque
Operación 7	Pesado de piedra cuarta
Traslado 5	Traslado de piedra cuarta a la zona de carga de tanque
Operación 8	Cargado de cemento y agua
Traslado 6	Traslado de agua y cemento a la zona de carga de tanque
Operación 9	Cargado de tanque de mezclado con piedra cuarto, arena, cemento y agua
Operación 10	Pesado de arena
Traslado 7	Traslado de arena a la zona de carga de tanque
Operación 11	Pesado de piedra cuarta
Traslado 8	Traslado de piedra cuarta a la zona de carga de tanque
Operación 12	Pesado de cemento y medición de agua
Traslado 9	Traslado de agua y cemento a la zona de carga de tanque
Operación 13	Cargado de tanque de mezclado con piedra cuarto, arena, cemento y agua
Operación 14	Medición de aditivo
Traslado 10	Traslado de aditivo a la zona de carga de tanque
Operación 15	Cargado de tanque de mezclado con aditivo
Espera 1	Espera de mezclado de materiales
Traslado 11	Traslado del encargado de control de calidad a la zona de carga de tanque
Inspección 1	Inspección de la mezcla de concreto premezclado
Operación 16	Fin del proceso

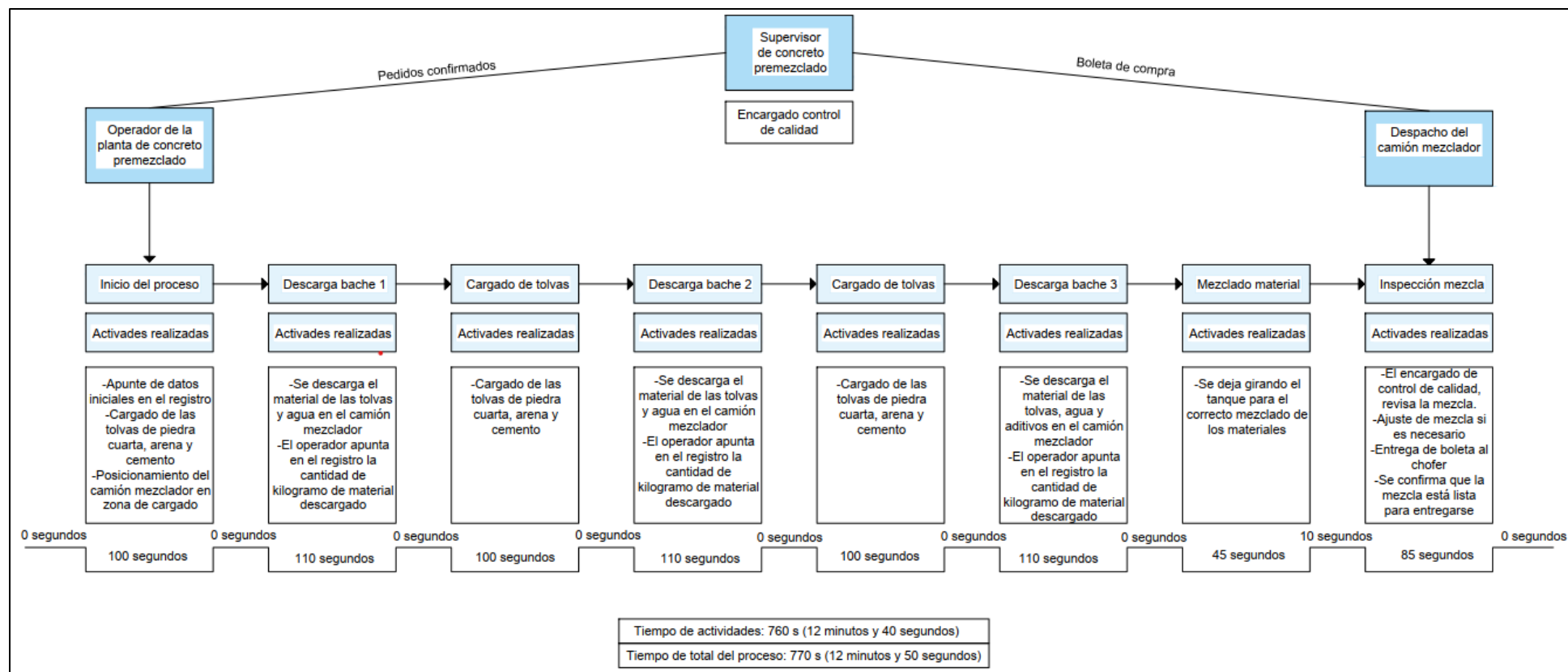
Se destaca que, los materiales antes de obtener la muestra de concreto premezclado, deben de mezclarse por un periodo determinado, el cual se retoma en el análisis, este tiempo no es medido por parte del personal a cargo de la planta, por lo que no se cumple con este aspecto.

3.2.3 Value Stream Mapping

En esta sección se presenta el diagrama tipo Value Stream Mapping, en el cual se representa el proceso de elaboración de concreto premezclado, pero de forma distinta a los diagramas de recorrido; esto, debido a que no se representa la planta de producción a como está ubicada físicamente, sino con el flujo del proceso linealmente; además de los tiempos aproximados de cada actividad.

En este diagrama, el cual se puede observar en la Figura 15, para que el proceso inicie es necesario que el supervisor de concreto premezclado reciba la confirmación del pedido por parte del cliente y le solicite al operador de la planta de concreto premezclado que realice el cargado de material para ser entregado. Cuando el proceso se inicia, el operador apunta los datos iniciales en el registro como el cliente, sitio de descarga, hora de inicio, el volumen del pedido, el nombre del chofer, el diseño del concreto y el orden de carga; además, se empiezan a cargar las tolvas de piedra cuarta, arena y cemento y se asegura de que el camión esté estacionado correctamente. Luego se realiza la descarga del *batch* 1 donde se incluye el material de las tolvas previamente cargadas; también, el operador registra la cantidad de material que se ha cargado. Este proceso de cargado de tolvas y descarga de *batches* se repite dos veces más, con la diferencia de que en la descarga del último *batch* incluye el aditivo requerido, se procede con el último periodo de mezclado del material, y finalmente, se procede con la inspección de la mezcla, donde el encargado de control de calidad la revisa, se confirma que está preparada para ser entregada y se entrega la boleta de confirmación al chofer. Una vez que el chofer regresa de la descarga entrega la boleta al supervisor de concreto premezclado. Este diagrama presenta, además, el tiempo aproximado de las actividades realizadas, así como también el tiempo global de todo el proceso de elaboración de concreto premezclado.

Figura 15. Diagrama Value Stream Mapping (VSM) del proceso de elaboración de concreto premezclado dividido por baches



3.3 Propuestas de mejora del proceso de elaboración de concreto premezclado

En esta sección se presentan las propuestas de mejora que se recomiendan a la empresa para mejorar el proceso de elaboración de concreto premezclado. Estas propuestas abarcan desde el control de calidad con la elaboración de los ensayos normados, hasta la planta de producción de concreto premezclado.

Se presentan cinco propuestas, las cuales se resumen a continuación:

- Revisar el muestreo y procedimiento de los ensayos realizados.
- Mejorar el proceso de curado de los cilindros de concreto para los ensayos de resistencia a la compresión.
- Realizar un mayor mantenimiento a la planta de concreto premezclado.
- Proteger de mejor manera las muestras de concreto premezclado.
- Mezclar el concreto premezclado completamente.

A continuación, se describe cada una de las propuestas mencionadas:

Revisión del muestreo y procedimiento de los ensayos realizados

Para la revisión de los muestreos y procedimientos de los ensayos realizados por el Departamento de Control de Calidad, se propone que el supervisor de dicho departamento efectúe un plan con hojas de verificación de todo el proceso a elaborar en cada una de los ensayos, que contemple las cantidades que se deben de utilizar de muestra por los técnicos, los procedimientos debidos para los ensayos aplicables a los agregados y al concreto premezclado y los cálculos correspondientes. Además, de verificar que el equipo utilizado en los ensayos cumpla con los requisitos de las especificaciones establecidas en las normas.

Entre los principales ensayos por mejorar se encuentra: el ensayo de material que pasa por el tamiz de 75 μm , ensayo para análisis de granulometría, ensayo para calcular el contenido de humedad evaporable de los agregados mediante secado, muestreo de concreto recién mezclado, medición de temperatura del concreto recién mezclado y ensayo para determinar la resistencia a la compresión de especímenes de concreto.

Por otro lado, se plantea que los técnicos del laboratorio tengan un fácil acceso a las principales normas correspondientes al control de calidad, en especial, las aplicadas a los agregados, debido a que los técnicos cuentan con algunas normas INTECO para ensayos al concreto premezclado impresas, mientras que para los ensayos y especificaciones aplicables a los agregados no se tienen.

Mejorar el proceso de curado de los cilindros de concreto para los ensayos de resistencia a la compresión

Para el mejoramiento del proceso de curado de los cilindros de concreto se basa, primeramente, en someter los cilindros a un curado inicial, debido a que los cilindros conformados por el técnico de laboratorio en la planta de concreto premezclado, no son sometidos a esta etapa, seguido de un mejor proceso de curado final.

El curado inicial propuesto se basa en colocar los cilindros dentro de bolsas herméticas con el fin de evitar que pierdan humedad por la superficie superior del molde, además, deben situarse en un lugar donde no sean impactados directamente por la luz del sol, y la temperatura no supere los 27°C; entre las áreas para este curado inicial se plantea que se coloquen en una cámara dentro del cuarto de control, el cual cuenta con aire acondicionado, por lo que el monitoreo de temperatura y humedad es más sencillo.

Por otra parte, se debe asegurar que no se superen periodos mayores a 30 minutos desde que se les retira el molde hasta ser colocado en el tanque de agua, para iniciar el curado final. Por último, se debe verter agua fría o hielo en el tanque de almacenamiento, para evitar que la temperatura del agua supere los 25°C.

Realizar un mayor mantenimiento a la planta de concreto premezclado

Para esta propuesta se recomienda inicialmente restaurar los elementos más deteriorados, eliminando la oxidación presente en las tolvas, luego removiendo la suciedad causada por los agregados y el cemento de la línea transportadora y el exterior del cuarto de control, con ácido muriático, debido a que presentan suciedad de forma permanente. Se procede con la colocación de pintura en las tolvas, silos, partes metálicas de la línea transportadora y cuarto de control, para su protección. Finalmente, el proceso concluye con la sustitución o reparación de las piezas dañadas en las tolvas, como sensores y los pistones del sistema de compuertas. El estado de la planta se puede observar en la Figura 94 en el capítulo de apéndices.

El mantenimiento debe ser un procedimiento constante, no una acción que se realiza cuando el estado de los elementos requiere de un proceso más elaborado, no obstante, el operador de la planta efectúa labores de limpieza de ciertas áreas de la planta, el cual este no es suficiente para el uso constante que se ejecuta en ella, por lo que se debe elaborar un plan de mantenimiento de todas las partes de la planta, para garantizar el óptimo estado de todos sus componentes y evitar su deterioro.

Proteger de mejor manera las muestras de concreto premezclado.

Para proteger las muestras de concreto premezclado en la planta, se propone colocar una estructura de techo a la altura del cuarto de control, sobre el área donde se realiza el muestreo y los ensayos al concreto premezclado, estas áreas se encuentran una al lado de la otra, por lo que es necesaria una única estructura, la cual puede ser similar a la existente sobre los almacenes de los aditivos; de esta manera, se protegen las muestras de concreto premezclado de la lluvia y los rayos de sol, además, del equipo y los técnicos.

Esta estructura de techo debe tener un área superior en forma rectangular, el cual inicie desde la parte posterior del cuarto de control, hasta asegurar que la zona de descarga de las muestras del camión mezclador, esté totalmente cubierto, adicionalmente, se puede extender esta estructura hacia el almacén de aditivos y el cuarto donde permanece el equipo utilizado para los ensayo, así como el técnico de control de calidad.

La estructura de techo que se encuentra sobre los almacenes de aditivos se puede observar en la Figura 94, en el capítulo de apéndices.

Mezclar el concreto premezclado completamente

Para un completo mezclado del concreto premezclado se propone, primeramente, determinar las revoluciones adecuadas de giro del tanque del camión mezclador, además de las revoluciones recomendadas para después de cargar todos los materiales en dicho tanque, estos materiales son arena, piedra, cemento, agua y aditivo.

Una vez que se haya determinado adecuadamente el tiempo de mezclado del material para antes de aplicar los ensayos de control de calidad, se debe asegurar el cumplimiento de este periodo por medio de mediciones o conteos por parte del operador de la planta, y así, luego el concreto premezclado es revisado por el técnico de control de calidad para proceder a la obtención de la muestra de concreto premezclado y efectuar con los ensayos correspondientes, con un concreto mezclado correctamente y representativo del entregado al cliente.

Capítulo 4: Análisis de resultados

En este capítulo se presenta el análisis de los resultados, el cual se divide según los objetivos del proyecto, los cuales son: control de calidad, productividad de la planta de concreto premezclado y las propuestas de mejora en el proceso de producción de concreto premezclado.

4.1 Control de calidad

En esta sección se presenta el análisis de los resultados del control de calidad. Se divide según cada una de las normas evaluadas, tanto para los agregados, y el desempeño del concreto premezclado, además de los aditivos.

4.1.1 ASTM C33 “Standard Specification for Concrete Aggregates”

En esta sección se analizan los resultados obtenidos de los ensayos de granulometría de los agregados finos y de los agregados gruesos, además del módulo de finura del agregado fino.

Primeramente, se analiza el agregado fino, del cual se tienen dos muestras de arena de río. La ASTM establece en la especificación ASTM C33 que el agregado fino debe cumplir con la graduación de la Tabla 2 y con un módulo de fineza no menor a 2.3 y no mayor a 3.1; por lo que con base en estos requisitos se realiza el análisis del agregado fino. La muestra 1 de arena de río no cumple con los requisitos de porcentaje acumulado que pasa de la Tabla 2, esto se puede observar en la Figura 1, debido a que no se conoce el porcentaje acumulado que pasa por el tamiz 9.5 mm. Se considera ahora el módulo de fineza, el valor obtenido para la muestra 1 de arena de río fue de 3.14, el cual se encuentra por encima del límite superior que es de 3.1. Por tanto, la muestra 1 de la arena de río no cumple tanto con los requisitos granulométricos como del módulo de fineza.

Se considera a continuación la muestra 2 de arena de río, la cual sobrepasa el límite inferior del porcentaje acumulado que pasa del tamiz de 2.36 mm. Este límite es de 80% y el porcentaje que presenta la arena es de 78.34%, por lo que la diferencia es de 1.66%; esta diferencia se puede apreciar en la Figura 2. De igual manera, de la muestra 1 de arena de río no se conoce el porcentaje acumulado que pasa por el tamiz de 9.5. Con respecto al módulo de fineza, para la muestra 2 de arena de río se obtuvo un valor de 3.12, superando así el límite superior el cual es de 3.10. Con base en estos resultados, se puede considerar que la muestra 2 de la arena de río, al igual que la muestra 1 de arena de río, no cumplen con los requisitos granulométricos ni con el módulo de fineza establecido por la norma ASTM C33

Para el análisis del agregado grueso se tienen dos muestras de piedra cuarta. Se destaca que este material es producido en la planta de producción de Concrepal en Barranca. La ASTM, establece en la especificación ASTM C33 que el agregado grueso debe cumplir con la graduación de la Tabla 1, por lo que, con base en estos requisitos, realiza el análisis del agregado grueso. Se procede a analizar los ensayos de piedra cuarta, donde se observa que ambas no cumplen con el porcentaje acumulado que pasa de la Tabla 1, específicamente con el número de tamaño 6 de dicha tabla, esto debido a que no se conoce el porcentaje acumulado que pasa por el tamiz 25.0, por lo cual se puede mencionar que los resultados se encuentran incompletos y su cumplimiento con la norma no es satisfactorio, esto porque no se puede asegurar que las muestras cumplen con el tamiz faltante.

Por otro lado, se destaca que en caso de tener una muestra de piedra quinta, esta se debe analizar con los requisitos de la Tabla 1, específicamente con el tamaño 8 de dicha tabla.

De las cuatro muestras que se analizaron, ninguna cumple con todos los requisitos definidos en la norma ASTM C33. El porcentaje de error en los resultados de la granulometría es de 0%, debido a que la diferencia de las masas medidas (el porcentaje de error real), se ajusta en el material retenido por cada tamiz, para este porcentaje inexistente, lo cual genera un procedimiento indebido e innecesario. Estos incumplimientos generan que no se conozca el comportamiento real de los agregados, lo cual afecta la calidad del concreto premezclado.

El análisis del método de ensayo ASTM C136, ASTM C117 y ASTM C29 se realiza en su respectiva sección.

4.1.2 ASTM C117 “Standard Test Method for Materials finer than 75 μ m (N.º 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing”

En esta sección se analiza el método de ensayo estándar para materiales más finos que un tamiz de 75 μ m en las muestras de agregado fino y los resultados obtenidos.

Se analiza primero el método de ensayo realizado, como los aparatos y materiales, muestreo procedimiento y cálculos. Como menciona ASTM, la balanza debe tener una precisión de 0.1 g o 0.1% de la carga por muestrear, la que sea mayor, además, los tamices deben ser uno de 75 μ m y otro de 1.18 mm, donde ambos cumplan con los requisitos de la Especificación E11: un contenedor donde se pueda colocar la muestra, cubrirla de agua y agitarla sin pérdida alguna de material y por último, un horno capaz de mantener una temperatura de 110 °C con variaciones máximas de 5°C. Estas especificaciones se cumplieron en cada una de los ensayos que se realizaron.

La ASTM menciona que para un tamaño nominal máximo de 4.75 mm o menor se debe utilizar una muestra de masa mínima de 500g, lo cual se cumplió para la realización de los ensayos. Por otra parte, el procedimiento realizado por el personal del laboratorio del control de calidad se hace según se especifica en

el método de ensayo ASTM C117, con excepción de que el proceso de lavado no se realiza hasta que el agua sea transparente; contrario a lo que menciona la ASTM de que el proceso de lavado se debe realizar hasta que el agua salga transparente, por lo que la muestra después de lavarse contiene un porcentaje importante de material que podría pasar por el tamiz de 75 μm .

El cálculo que se debería realizar, según la ASTM, es el que se utiliza para determinar el material que pasa por el tamiz de 75 μm . El cálculo establecido por la ASTM se presenta en la Ec. 1, el cual utilizó el laboratorio de control de calidad para determinar este valor.

El procedimiento utilizado por el laboratorio de control de calidad no es el correcto, mientras que el equipo, la cantidad de muestra, procedimiento del ensayo y cálculos si cumplen. Se destaca que el incumplimiento del procedimiento genera una afectación en los resultados de los ensayos granulométricos.

Se procede a analizar los resultados obtenidos, donde se indica que los valores de desviación estándar y de rango aceptables de dos resultados, se deben obtener de resultados de una misma muestra, pero para efectos de conocer el comportamiento de precisión de los resultados se realiza este análisis.

La ASTM establece que para un único operador la desviación estándar no debe ser mayor a 0.15 con un solo operador, mientras que el rango aceptable de dos resultados ($d2s$) no debe ser mayor que 0.43; por otro lado, también establece que para un único laboratorio y con un tamaño de muestra de 500 g, la desviación estándar no debe ser mayor que 0.08 y el rango aceptable de dos resultados no debe ser mayor que 0.24. Para los ensayos realizados por el laboratorio se determina que la desviación estándar entre los dos ensayos es de 0.537, con un rango aceptable de dos resultados de 0.760, por lo que ambos valores no se encuentran dentro de lo aceptable por la norma ASTM C117.

Se determinó, además, la desviación estándar y el valor de $d2s$, sumando al material que pasó por el tamiz de 75 μm el material que quedó en la charola del ensayo granulométrico, donde se obtuvo una desviación estándar de 0.488 y un valor de $d2s$ de 0.690, en el cual aún se presentan valores superiores a los mínimos establecidos por la norma ASTM C117.

4.1.3 ASTM C136 “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates”

En esta sección se realiza el análisis del método del ensayo estándar para la granulometría del agregado fino y grueso.

Se abarcan aspectos como aparatos, muestreo, procedimiento y cálculos. Entre los requisitos que los aparatos deben cumplir la ASTM menciona que la balanza debe tener una precisión de 0.1 g o 0.1% de la carga de la muestra para el agregado fino, y para el agregado grueso una precisión de 0.5 g o 0.1% de la carga de la muestra; por otra parte, tanto la tela del tamiz como los bastidores del tamiz deberán cumplir con la Especificación E11. Además, menciona que el agitador mecánico debe generar un movimiento tal que las

partículas puedan pasar por los tamices correspondientes, y por último, el horno debe tener la capacidad de mantener una temperatura uniforme de 110°C con diferencias máximas de 5°C. Los equipos utilizados por el laboratorio para este ensayo sí cumplen con lo especificado en la norma.

La ASTM menciona que el tamaño de muestra de ensayo para el agregado fino deberá ser mínimo 300g, y para el agregado grueso con un tamaño nominal máximo de 19 mm. El tamaño de muestra de ensayo mínimo deberá ser de 5 kg, además, para determinar el material que pasa por el tamiz de 75 μm se debe realizar por medio del método de ensayo C117; esto para muestras con un tamaño nominal máximo de 12.5 mm o menos. El tamaño de muestra que se utilizó para los ensayos de agregado fino fueron de mínimo 446 g después de secado, además, para determinar la cantidad de material que pasa por el tamiz de 75 μm se realizó el método de ensayo C117, por lo que el muestreo sí cumple con los requisitos de la norma en estos apartados. Por otra parte, se considera que el tamaño de muestra del ensayo para agregado grueso no cumple con lo establecido por la norma; esto se debe a que la ASTM menciona que para un tamaño nominal máximo de 19.0 mm el tamaño de la muestra debe ser de 5 kg, mínimo, por lo que una muestra menor a la especificada puede generar que los resultados no sean representativos del agregado.

Se analiza el procedimiento efectuado para este ensayo, donde se determinó la existencia de algunos aspectos que no cumplen con lo establecido por la norma ASTM C136. Estos aspectos son los siguientes: después de agitar la muestra en el agitador manual, la ASTM menciona que se debe realizar un tamizado manual, el cual consiste en sujetar el tamiz individual, inclinándolo levemente y golpeándolo en seco por el lateral, con la parte baja de la palma de la otra mano, a una tasa aproximada de 150 veces por minuto; esto girándolo a un sexto de revolución cada 25 golpes. Además, el proceso se detiene cuando no más del 1% en masa del material retenido en cualquiera de los tamices, atraviese el tamiz durante un 1 minuto. En el procedimiento realizado en el laboratorio, cada tamiz se golpea solamente 25 veces en 4 puntos alrededor, esto tanto para las muestras de agregado fino como para las muestras de agregado grueso. Se destaca que, para los ensayos de granulometrías de agregado grueso, el personal del laboratorio divide la muestra en cuatro partes, para así evitar exceder los máximos admisibles de material retenido en un tamiz.

Se considera que el procedimiento realizado en el laboratorio no cumple con lo especificado en la norma ASTM C136, por lo que estas omisiones pueden generar alteraciones en los resultados granulométricos, por lo que el material retenido en cada tamiz no es el adecuado, debido a que el tamizado manual se encuentra incompleto.

En el apartado de los cálculos, se determina que se obtuvo correctamente el módulo de fineza, debido a que consideran los tamices necesarios, con la excepción de que en los ensayos de las muestras de arena no se hizo uso del tamiz de 9.5 mm. Por otra parte, los cálculos de los porcentajes, el total de porcentajes retenidos y demás cálculos realizados, se toman en cuenta los resultados del método de ensayo C117, por lo que se determina que los cálculos cumplen con lo especificado por la norma ASTM C136.

Para el apartado de precisión, de igual forma que en la norma anterior, se indica que los valores de desviación estándar y rango aceptable de dos resultados se deben obtener de resultados de una misma muestra, pero para efectos de conocer el comportamiento de la precisión de los resultados se realiza este análisis, donde se observa que pocos tamices cumplen con la desviación estándar máxima, así como con el rango aceptable de dos resultados; esto para las muestras de arena de río y de piedra cuarta. La ASTM, establece que para el agregado fino con porcentajes totales de material que pasa entre un 100 y 95% la desviación estándar máxima es de 0.32, con un rango aceptable de dos resultados máximo de 0.9, mientras que porcentajes de entre 15% y 10% la desviación estándar máxima es de 0.36, con un rango aceptable de dos resultados máximo de 1.0. Los resultados de las muestras de arena de río presentan una desviación estándar de 0.48, con un rango aceptable de dos resultados de 0.68 para porcentajes totales de material que pasan de entre 100% y 95%. Además, presentan una desviación estándar de 1.65, con un rango de dos resultados de 2.34 para porcentajes totales de material que pasan de entre 15% y 10%. Se continúa analizando los resultados de las muestras de la arena de río, donde se considera la Tabla 57, en la cual se pueden observar los valores de 1s y d2s máximos establecidos en la norma ASTM C136 los que se comparan con la Tabla 13, donde es claro que los valores de los resultados de las muestras de arena río superan dichos máximos.

Tabla 57. Datos de precisión de las muestras de 300 y 500 g.

Muestra de aptitud de agregado fino			En un laboratorio		Entre laboratorios		
Resultado de la prueba	Tamaño de la muestra	Cant. de laboratorios	Promedio	1s	d2s	1s	d2s
Método de prueba C136/N.º T 27 AASHTO							
Total de material que pasa por el tamiz N.º 4 de 4,75 mm (%)	500 g	285	99,992	0,027	0,066	0,037	0,104
	300 g	276	99,990	0,021	0,060	0,042	0,117
Total de material que pasa por el tamiz N.º 8 de 2,36 mm (%)	500 g	281	84,10	0,43	1,21	0,63	1,76
	300 g	274	84,32	0,39	1,09	0,69	1,92
Total de material que pasa por el tamiz N.º 16 de 1,18 mm (%)	500 g	286	70,11	0,53	1,49	0,75	2,10
	300 g	272	70,00	0,62	1,74	0,76	2,12
Total de material que pasa por el tamiz N.º 30 de 600 µm (%)	500 g	287	48,54	0,75	2,10	1,33	3,73
	300 g	276	48,44	0,87	2,44	1,36	3,79
Total de material que pasa por el tamiz N.º 50 de 300 µm (%)	500 g	286	13,52	0,42	1,17	0,98	2,73
	300 g	275	13,51	0,45	1,25	0,99	2,76
Total de material que pasa por el tamiz N.º 100 de 150 µm (%)	500 g	287	2,55	0,15	0,42	0,37	1,03
	300 g	270	2,52	0,18	0,52	0,32	0,89
Total de material que pasa por el tamiz N.º 200 de 75 µm (%)	500 g	278	1,32	0,11	0,32	0,31	0,85
	300 g	266	1,30	0,14	0,39	0,31	0,85

Fuente: ASTM

Con base en lo mencionado anteriormente, se considera que los resultados de este ensayo no cumplen con el apartado de precisión y sesgo de la norma ASTM C136, porque los valores de desviación estándar y rango de dos resultados se encuentran muy por encima del máximo establecido por la norma.

Se procede a analizar los resultados de las muestras de piedra cuarta, donde se determina que estos no cumplen con lo establecido por la norma ASTM C136, debido a que se presenta una desviación estándar de 21.70 y un rango aceptable de dos resultados de 30.69, para porcentajes totales de masa que pasan de entre 60 y 20%. Estos valores son superiores a los que menciona la ASTM, para dicha norma, donde establece que para piedra cuarta con porcentajes totales de masa que pasan entre un 60 y 20%, la desviación estándar máxima es de 1.32 y el rango aceptable de dos resultados es de 3.8.

Se determina que el laboratorio de control de calidad cumple con aspectos como aparatos, procedimiento y cálculos, pero el muestro utilizado no es el correcto, además, la precisión al utilizar valores de resultados de muestras distintas se encuentra lejos de estar dentro de los máximos establecidos.

4.1.4 ASTM C566 “Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying”

En esta sección se realiza el análisis del método del ensayo estándar para calcular el contenido de humedad evaporable de los agregados mediante secado.

Con base en lo descrito en el capítulo de resultados para este ensayo con la norma ASTM C566, se analizan los incumplimientos encontrados, como la balanza utilizada, debido a que, como menciona ASTM, la balanza debe tener una precisión, legibilidad y sensibilidad de mínimo el 0.1% de la masa del ensayo, lo cual corresponde a un valor de 0.5 g para un ensayo de 500 g; este incumplimiento genera además, que no se pueda determinar la masa de las muestras con la precisión establecida, tanto para determinar la masa de la muestra húmeda como seca. Por otra parte, la ASTM, menciona que para muestras de agregado con un tamaño nominal máximo de 19.0 mm, la masa de la muestra debería ser de mínimo 3 kg; caso contrario a la muestra utilizada por el laboratorio de control de calidad la cual es de 0.5 kg. Este incumplimiento puede generar alteraciones en los resultados debido a que no se conoce la masa con la precisión requerida.

Finalmente, se indica que los valores de desviación estándar y de rango aceptable de dos resultados, se debe obtener de resultados de una misma muestra, pero para efectos de conocer el comportamiento de la precisión de los resultados se realiza este análisis. En el análisis se encuentra que la precisión de los resultados del contenido de humedad evaporable, tanto para el agregado fino, como para el agregado grueso, son superiores a los establecidos, donde la menor desviación estándar determinada para el agregado fino es de 0.67%, mientras que para el agregado grueso este valor se encuentre entre 0.30% y el 0.00%. Como se mencionó anteriormente, ambos agregados presentan valores de desviaciones estándar mayores a los establecidos por ASTM, el cual establece que la desviaciones estándar mínima es de 0.28%, esto para

muestras analizadas por un único operador y en un mismo laboratorio. Se destaca, que el incumplimiento de la precisión de estos ensayos se puede deber a que, para una misma muestra, los ensayos en ocasiones se realizaban en momentos distintos, donde factores como la temperatura del ambiente pueden afectar negativamente; además, se debe considerar que la balanza utilizada tampoco cumple con la precisión establecida, por lo que es evidente la influencia directa en los resultados.

Con base en lo mencionado anteriormente, se determina que el laboratorio de control de calidad no cumple satisfactoriamente con aspectos como aparatos, muestreo, procedimiento y precisión y sesgo.

4.1.5 ASTM C29 “Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate”

En esta sección se realiza el análisis del método del ensayo estándar para determinar la densidad a granel o peso unitario. Se debe destacar que solamente se abarcarán las muestras de agregado fino, debido a que para el agregado grueso los pesos unitarios se determinaron en condición húmeda, por lo que no se pueden considerar para el análisis.

Se procede a comparar lo mencionado en el capítulo de resultados para este ensayo con lo que se establece en la norma ASTM C29, donde se encontró solamente un incumplimiento, el cual se debe a que los valores de desviación estándar son superiores a los que menciona la ASTM, donde se establece el agregado fino la desviación estándar máxima con un único operador es de 14 kg/m^3 , por lo que con valores de desviación estándar de 18.38 kg/m^3 y 16.26 kg/m^3 para las muestras de arena pedregal y arena de río respectivamente, no se cumple satisfactoriamente.

Se determina que el laboratorio de control de calidad cumple con aspectos como aparatos, métodos de ensayo, procedimientos y cálculos, para el agregado fino, mientras que los resultados de los ensayos no cumplen con la precisión que establece la norma ASTM C29.

4.1.6 ASTM C128 “Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption for Fine Aggregate”

En esta sección se realiza el análisis del método del ensayo estándar para determinar la densidad relativa y la absorción del agregado fino.

Se procede a analizar los incumplimientos encontrados. El primero se basa según lo mencionado ASTM, donde se establece que después de haberse eliminado todas las burbujas presentes en el picnómetro, este se debe ajustar a una temperatura de $23.0 \pm 2.0^\circ\text{C}$; no obstante, este procedimiento no se realiza para este ensayo, por lo cual se considera incompleto, y puede afectar los resultados de los ensayos.

Se indica que los valores de desviación estándar y de rango aceptable de dos resultados, se deben obtener de resultados de una misma muestra, pero para efectos de conocer el comportamiento de la precisión de los resultados se realiza este análisis, el cual se hace con base en la Tabla 58. Si se comparan los valores de desviación estándar y el rango de los resultados obtenidos, se evidencia que los resultados de los ensayos a las muestras de arena no cumplen con la precisión establecida por la norma ASTM C128; el único criterio que se encuentra dentro de los límites máximos de precisión es el % de absorción.

Tabla 58. Valores máximos de precisión.

	Desviación estándar	Rango aceptable de dos resultados (d2s) ^A
Precisión con un único operador		
Densidad relativa (gravedad específica) (OD)	0,011	0,032
Densidad relativa (gravedad específica) (SSD)	0,0095	0,027
Densidad relativa (gravedad específica) aparente	0,0095	0,027
Absorción, ^B %	0,11	0,31
Precisión entre múltiples laboratorios		
Densidad relativa (gravedad específica) (OD)	0,023	0,066
Densidad relativa (gravedad específica) (SSD)	0,020	0,056
Densidad relativa (gravedad específica) aparente	0,020	0,056
Absorción, ^B %	0,23	0,66

Fuente: ASTM

4.1.7 ASTM C94 “Standard Specification for Ready-Mixed Concrete”

En esta sección se realiza el análisis del cumplimiento de la especificación estándar para el concreto hidráulico elaborado.

Primeramente, se analiza si los resultados de asentamiento cumplen las tolerancias máximas de la norma, donde si se observa lo que menciona la ASTM, la tolerancia máxima para asentamiento objetivos es de una diferencia de 40mm, por lo que los resultados sí cumplen, debido a que la máxima diferencia encontrada es de 10 mm.

Se continúa con el análisis del cumplimiento de la norma en la planta de concreto hidráulico, donde se comprueba la exactitud de las balanzas con pesos estándares de 200 kg, por lo que se compara con lo menciona la ASTM, respecto de que, para balanzas con capacidad de 2000 kg, el peso estándar debe verificar la exactitud con el 100% de su capacidad; contrario a lo realizado en la planta de concreto premezclado, donde los 200 kg representan apenas el 10%. La ASTM menciona, además, que todos los puntos de pivote, horquillas y piezas de funcionamiento similar de las balanzas se deben mantener limpios; esto no se cumple debido a que permanecen la mayor parte del tiempo con suciedad, lo cual puede provocar deterioro en las piezas a futuro, variaciones en el funcionamiento de las balanzas y tolvas. Por otra parte, la ASTM, menciona que los materiales deben ser mezclador entre 70 y 100 revoluciones del tanque del camión; lo cual, si se compara con el tiempo de mezclado presente en las mediciones de productividad en las tablas 53, 54, 55 y 56, el tiempo de espera, que corresponde al tiempo de mezclado, no es suficiente para que el tanque gire las revoluciones establecidas por la norma.

Con base en lo mencionado anteriormente, se determina que la planta de concreto premezclado de la empresa Concrepal en Barranca no cumple con lo especificado por la norma ASTM C94. Estos incumplimientos pueden generar problemas en la representatividad de la muestras en comparación al concreto premezclado entregado

Las secciones de medición de los materiales, mezcladores y agitadores, mezcla y entrega, prácticas métodos de ensayo e informes, muestreo y ensayos de concreto hidráulico fresco, resistencia e incumplimiento de los requisitos de resistencia, cumplen con lo establecido por la norma ASTM C94, esto según los apartados mencionados en el cuadro 7.

4.1.8 INTE C17 “Muestreo de concreto recién mezclado”

En esta sección se realiza el análisis del cumplimiento de la norma para el muestro de concreto recién mezclado con cemento hidráulico.

Se realiza el análisis por medio de la comparación de muestreo y procedimiento descrito en los resultados con lo establece en la norma INTE C17, donde el principal incumplimiento es el que menciona INTECO. Este establece que la muestra obtenida se debe proteger de las fuentes de rápida evaporación y de contaminación como el sol; contrario a lo que se presenta en la planta, donde en ciertas horas y períodos del día, la luz del sol impacta directamente sobre la muestra de concreto premezclado, por lo que se determina que sí se cumple con lo establecido por la norma INTE C17, pero no de forma satisfactoria, debido a que esta exposición al sol puede afectar los resultados obtenidos de la muestra de concreto premezclado.

A pesar de que en resultados se menciona que el muestreo se realiza para camiones automezcladores y describe el procedimiento realizado, no se puede determinar si se cumple o no, debido a que la norma menciona el procedimiento por seguir solamente cuando se efectúa durante la descarga.

4.1.9 INTE C43 “Medición de temperatura del concreto recién mezclado con cemento hidráulico”

En esta sección se realiza el análisis del cumplimiento de la medición de temperatura del concreto premezclado.

El análisis se realiza comparando lo descrito en los resultados con la norma INTE C43, donde se encontraron dos incumplimientos. El primer incumplimiento se debe a que, como INTECO menciona, el medidor de temperatura se debe dejar en la mezcla entre 2 y 5 min, caso contrario a lo que se realiza en la planta de concreto premezclado, donde se deja el medidor hasta que se haya estabilizado el valor, aproximadamente entre 20 y 30 segundos, por lo cual se determina que no se cumple con la norma INTE C43 además, este incumplimiento puede generar alteraciones en la muestras, por ende en los resultados de los ensayos.

Por otra parte, los valores de desviación estándar y de rango aceptable de dos resultados se deben obtener de resultados de una misma muestra, pero para efectos de conocer el comportamiento de la precisión de los resultados se realiza este análisis.

El segundo incumplimiento se debe a lo que menciona INTE, donde se establece que la desviación estándar para las mediciones de temperatura con un solo laboratorista debe ser de 0.3°C , máximo, con una diferencia máxima entre dos resultados de 0.7°C , mientras que la desviación estándar entre las mediciones realizadas se encuentra entre el 0.0°C y 3.7°C ; por ello, se determina que no se cumple con la precisión establecida. Además, como se menciona en los resultados, la desviación estándar se debe calcular con la medición de la temperatura de la misma muestra, pero no se tenían estos datos, por lo que se decidió obtener la desviación estándar para conocer un aproximado de la precisión de los resultados.

4.1.10 INTE C41 “Asentamiento en el concreto del cemento hidráulico. Método de ensayo”

En esta sección se realiza el análisis del cumplimiento de la medición de asentamiento del concreto premezclado.

Se analiza lo descrito en resultados para la presente ensayo con lo establecido en la norma INTE C41, donde se pueden encontrar dos incumplimientos. El primer incumplimiento se debe a lo que menciona INTECO, respecto de que, si el concreto presenta un desplome de un lado o porción de la masa, esta se debe desechar y volver a realizar el ensayo con una muestra diferente. Se debe destacar que este desplome puede ser provocado por que las muestras de concreto premezclado contienen aditivos plastificantes.

El segundo incumplimiento se debe a las desviaciones estándar y rangos aceptables de dos resultados de los ensayos, donde, para obtener valores aplicables a los que menciona la presente norma se

debe tener más de un resultado de una misma muestra; además de que INTECO, menciona desviaciones estándar y rango aceptable de los resultados para asentamientos de 30, 85 y 160 mm únicamente, por lo que, para asentamientos de 170, 180, 190 y 200 mm no se mencionan valores máximos de precisión.

4.1.11 INTE C72 “Método para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire del concreto por el método gravimétrico”

En esta sección se realiza el análisis del ensayo para la determinación de la densidad y rendimiento.

Se hace la comparación de lo descrito en los resultados con la norma INTE C72, donde se determinó que los ensayos realizados por el laboratorio de control de calidad cumplen con los aspectos de equipo, procedimiento y cálculos; destaca que el cumplimiento del muestreo se determina en la sección de la norma INTE C17.

Por otra parte, se determinó un incumplimiento, el cual se debe a que, para evaluar la precisión de los resultados, se deben tener mínimo dos para una misma muestra, mientras que el personal del laboratorio solamente realiza un ensayo por cada muestra. A pesar de esto, se analiza la desviación estándar de los resultados de los ensayos para diferentes muestras, estas deben ser menores a las que establece INTECO, las cuales son de 10.4 kg/m^3 para ensayos realizadas por un solo operador, además de una diferencia máxima de 29.6 kg/m^3 resultados; por lo que, comparando estos valores con los obtenidos de los resultados de estos ensayos, se observa que tanto la desviación estándar, como la diferencia máxima entre resultados presenta valores menores a los máximos mencionados en la norma INTE C72.

4.1.12 ASTM C470 “Standard Specification for Molds for Forming, Concrete Test Cylinders Vertically”

En esta sección se realiza el análisis del ensayo para la determinación de la densidad y rendimiento.

Se procede a hacer el análisis de los resultados, donde se compara lo mencionado en el capítulo de resultados de los cilindros para ensayos de concreto premezclado con la norma ASTM C470 y se encontró únicamente un incumplimiento, el cual menciona ASTM, respecto de que los moldes reutilizables deben ser analizados para detectar fugas de agua, además, la resistencia al daño y la estabilidad dimensional, esto mínimo cada seis meses o cada 50 usos, lo que suceda primero. Se determina como incumplimiento debido a que los cilindros son sometidos a estos análisis únicamente en el momento antes de usarse la primera vez y son desechados cuando se observa que no pueden ser utilizados correctamente, esto puede generar que los moldes afecten los especímenes de concreto, alterando sus características.

4.1.13 INTE C19 “Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo en el campo”

En esta sección se realiza el análisis del cómo se hacen y se curan los especímenes de concreto para los ensayos.

Primeramente, se destaca que en varios apartados de la norma INTE C19 su verificación de cumplimiento depende de otras normas, por lo que estas se analizarán en sus respectivas secciones.

Se determina que, de los apartados aplicables al sujeto de estudio, el laboratorio de control de calidad cumple satisfactoriamente con los siguientes aspectos: Equipo, requisitos de ensayo, muestreo del concreto, el moldeo de especímenes y transporte de los especímenes al laboratorio. En este último se determinó una observación, la cual es que al momento de transportar los especímenes al laboratorio estos no son protegidos contra la pérdida de humedad, no obstante, no es significativo debido a que el transporte es de aproximadamente 200 m.

Por otra parte, se destacan varios incumplimientos con respecto al curado. El primer incumplimiento por analizar es la ausencia del curado inicial, debido a que los especímenes luego del moldeo y acabado se dejan en el mismo lugar, contrario a lo que menciona INTECO, respecto de que luego del moldeo y acabado los especímenes deben almacenarse en un lugar aproximadamente por 48 horas con una temperatura de entre 16°C y 27°C; además, los especímenes deben protegerse de la luz directa del sol. Esto no se realiza, sino que existen periodos donde son impactados directamente, como se puede observar en la Figura 57. Finalmente, se analiza el curado final, el cual sí se compara con el descrito en los resultados; no se cumple con lo que menciona INTECO, donde se establece que el tiempo máximo entre la remoción de los moldes y el curado final debe de ser de 30 minutos, además, la temperatura se debe encontrar entre los 21°C y 25°C. INTECO menciona que los cilindros que son almacenados en el curado inicial a una temperatura mayor a 27°C pueden tener resultados mayores a edades tempranas, mientras que a edades mayores los resultados pueden ser menores.

Estos incumplimientos pueden generar que los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia no sean representativos del concreto premezclado entregado al cliente.

4.1.14 ASTM C39 “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”

En esta sección se realiza el análisis del ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto.

Para el análisis, se compara el ensayo realizada por el laboratorio con la norma ASTM C39, donde se determina que este cumple con los aspectos de aparatos, cálculos e informe, mientras que en los aspectos de especímenes y procedimientos se observaron dos incumplimientos. El primer incumplimiento se debe a que como menciona ASTM, para cilindros preparados por un único lote de moldes reutilizables, el diámetro se debe determinar mínimo tres veces al día; caso contrario a lo que se describe en resultados, donde el valor del diámetro es considerado como un dato fijo. Por otra parte, el segundo incumplimiento se debe a lo que menciona ASTM, donde se especifica que para ensayos a 3 días la tolerancia admisible es de 2 horas, para ensayos a 7 días la tolerancia admisible es de 6 horas y para ensayos a 28 días la tolerancia admisible es de 20 horas; mientras que el laboratorio de control de calidad realiza ensayos hasta 24 horas o más después del momento del que debería. Estos incumplimientos afectan directamente los resultados, debido a que puede generar que estos no sean representativos al concreto premezclado entregado.

Finalmente, se analiza la precisión de los resultados de los ensayos realizadas por el laboratorio, en donde se compara lo que menciona la ASTM, respecto de que para ensayos en condición de laboratorio y con cilindros de 100 por 200 mm, el coeficiente de variación máximo es de 3.2%, mientras que el rango aceptable individual para dos cilindros es de 9.0%. Con base en lo mencionado anteriormente, se puede observar que para un diseño de 180-280 únicamente cuatro ensayos, de nueve, cumplen con la norma, lo que representa en 44%; para el diseño de mezcla 210-300, tres de seis muestras cumplen, lo que representa un cumplimiento del 50% del total de ensayos para dicho diseño; para el diseño de mezcla 210-315 cuatro de siete muestras cumplen, lo que representa un cumplimiento del 57% de los ensayos; mientras que para el diseño de mezcla 280-350, ocho de nueve ensayos cumplen con lo establecido por la norma, lo que representa un cumplimiento del 89% de los ensayos realizadas; por último, para el diseño de mezcla 315-405 el cumplimiento de los ensayos es del 100%. Se puede observar que los diseños de mezcla con mayor cantidad de cemento lograron obtener mayor cantidad de ensayos que cumplen con la precisión establecida por la norma ASTM C39.

4.1.15 ASTM C1077 “Standard Practice for Agencies Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Testing Agency Evaluation”

En esta sección se realiza el análisis del organismo de ensayos de concreto hidráulico y agregados de concreto hidráulico para el uso en la construcción y criterios de evaluación de los organismos de ensayos.

Primeramente, se destaca que, de algunos aspectos como la máquina de ensayos, su cumplimiento se analiza en la sección del método de ensayo ASTM C39

Se procede a analizar el laboratorio, así como los criterios de evaluación, por lo que se compara lo descrito acerca de este con lo establecido en la norma ASTM C1077, en donde se determinó que, para los

apartados aplicables al sujeto de estudio, el laboratorio cumple con los siguientes criterios: calificaciones del personal, método de ensayo y procedimientos, instalaciones y equipos, registro e informes del organismo de ensayo, sistema de calidad y evaluación del organismo de ensayo. Destaca que no se encontró ningún incumplimiento por parte del laboratorio con la norma ASTM C1077, esto en los apartados aplicables al sujeto de estudio como se mencionó anteriormente.

4.1.16 Análisis de resultados de los ensayos realizada a los aditivos

En esta sección se realiza el análisis de los resultados de los ensayos aplicadas a los aditivos SH Ergo R175 y SH Fluxi RDS, esto en comparación con las características que menciona el proveedor en las respectivas fichas técnicas. Se debe destacar que el propósito de las primeras ensayos fue conocer la fluidez de la mezcla con el aditivo entre los intervalos de tiempo, mientras que las últimas ensayos se realizaron para observar la cantidad de agua que podría sobrar hasta un determinado nivel de fluidez. Este análisis se limita a aspectos únicamente de comprobación de las funciones de los aditivos.

Primeramente, se analizan los resultados del aditivo SH Ergo R175, del cual menciona SAHESA (2020) que es un aditivo tipo fluidificante, basado en la repulsión electrostática y el rechazo esférico de la cadena poliacrílica; además, enfatiza que la principal característica del aditivo es que se debe utilizar cuando se requiere que la mezcla se mantenga fluida por un periodo extenso. Se puede observar en la Tabla 50 cómo el aditivo fue capaz de aumentar significativamente la fluidez de la mezcla, con una diferencia de 125 mm de un ensayo de asentamiento a otra, por otra parte, en el ensayo de asentamiento a los 20 minutos de haberse aplicado el aditivo, la fluidez se redujo considerablemente, mientras que en la Tabla 52 se puede observar que en este ensayo, después de 30 minutos de haberse aplicado el aditivo, la fluidez se mantiene, con una diferencia entre la primera y el última ensayo de asentamiento de 25 mm, por lo que se puede determinar que en el primer ensayo el aditivo no logró mantener el nivel de fluidez debido a algún factor como una alta velocidad del mezclador antes del última ensayo de asentamiento, lo que pudo generar un acelerado endurecimiento de la mezcla.

En el caso del aditivo SH Fluxi RDS, menciona SAHE (2020) que tiene características plastificantes, retardantes y de reducción de agua, lo cual permite incrementar resistencias mecánicas, además, este funciona con base en mezclas de polímeros de síntesis polifuncionales. Se compara lo mencionado anteriormente con los resultados de las tablas 50, 51, 52 y 53, donde se observa que este aditivo no solo aumenta la fluidez de la mezcla con diferencias de asentamiento de 140 mm de un ensayo sin aditivo y otro ensayo con aditivo, además, este mantiene una alta fluidez hasta 30 minutos después de haberse aplicado. Por otra parte, se observa en el primera ensayo que la mezcla con el aditivo SH Fluxi RDS obtiene resistencias más altas que la mezcla con el aditivo SH Ergo R175, mientras que en el segunda ensayo el resultado es lo contrario, pero considerando que los promedios de resistencia de las mezcla con el aditivo SH Ergo R175

presenta una diferencia de 3 kg/cm^2 , se determina que la mezcla del segunda ensayo con el aditivo SH Fluxi RDS fue afectada por algún factor externo, como un mal procedimiento de la conformación de los cilindros, considerando que ambos tuvieron el mismo curado.

4.1.17 Resumen del análisis de los ensayos

El propósito de esta sección es presentar un resumen del análisis de los ensayos del primer objetivo, el cual se divide en agregados, desempeño del concreto hidráulico y aditivos. Se destaca que se realizó una verificación del desempeño de concreto premezclado, en función de las propiedades suministradas por la empresa; en este caso en particular no se pudo hacer una verificación del proporcionamiento de los componentes de la mezcla (diseño de mezcla) debido a que la empresa no comparte esta información con personas externas a la empresa.

Se determina, según los resultados obtenidos de los ensayos a los agregados, que algunas muestras de arena presentan incumplimientos en algunos tamices; aunque la diferencia no sea significativa, se debe asegurar el cumplimiento en todos los tamices, debido a que puede afectar el comportamiento del concreto si se utiliza este agregado. Por otra parte, ninguna de las dos muestras de agregado grueso cumple con los ensayos de granulometría. Conviene enfatizar que algunos aspectos del procedimiento y muestreo, así como el equipo de algunas normas, no se cumple satisfactoriamente.

Para la comprobación del desempeño del concreto hidráulico se consideran principalmente los resultados de los ensayos de determinación de rendimiento y resistencia a la compresión. Según los resultados de los ensayos de rendimiento, se puede señalar que el desempeño del concreto premezclado es el adecuado, debido a que, cuando son producidos en planta, estos cumplen con el rendimiento requerido de volumen. Por otra parte, se consideran los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión, donde la mayor parte de los promedios cumplen con la resistencia mínima esperada; sin embargo, existen algunos ensayos donde no sucede, pero esto se puede deber a lo que menciona INTECO, respecto de que los especímenes son almacenados inicialmente en temperaturas más altas, tienden a mostrar resultados menores a mayores edades; eso se evidencia en los resultados, donde se menciona que en periodos del día la temperatura supera los 26°C , además de la ausencia del curado inicial.

Por otra parte, se determina que, al igual que los ensayos aplicados a los agregados, algunos aspectos como equipo, muestreo y procedimiento no se cumplen en los ensayos realizadas al concreto premezclado, lo cual puede generar alteraciones en los resultados, debido a no se están elaborando los ensayos a como establece las normas. Finalmente, se establece que existen incumplimientos importante con respecto a la planta de producción de concreto premezclado, como la suciedad presente en varias piezas y el procedimiento incompleto para la verificación de la precisión de la balanza, esto afecta directamente la

producción, lo que provoca periodos donde no se produce concreto, sobre costos por reparación y pérdida de material.

Finalmente, se determina que los aditivos sometidos a los ensayos cumplen con las funciones establecidas por el proveedor, a pesar de que se presentan algunos incumplimientos, pero dichos incumplimientos se consideran producto de factores externos, no son propios de las características de los aditivos.

4.2 Productividad

En esta sección se realiza el análisis de los resultados de productividad de la planta de producción de concreto premezclado. Dicho análisis no determinó si la productividad de la planta es aceptable o no, este se realizó con el propósito de presentar el estado en que se encuentra. Se destaca que la productividad se evalúa con base en los indicadores, que son la calidad del producto, volumen de mezcla entregado al cliente según lo solicita y en tiempos no contributivos, por lo que si algunos de estos indicadores no son cumplidos el proceso de producción puede verse afectado directamente.

Primeramente, se evalúa la calidad del concreto premezclado, que como se determinó en las secciones anteriores, se encontraron incumplimientos en el equipo, muestreo y procedimiento de los ensayos con respecto a las normas utilizadas para el análisis, por lo que la calidad del producto no es la adecuada, además, se observó que algunas características de los agregados como el módulo de finura y la granulometría tampoco cumple con los requisitos establecidos por las especificaciones, lo cual provoca una afectación en el comportamiento y calidad del concreto premezclado. Por ende, es evidente que el proceso de análisis y verificación de la calidad de los materiales que conforman la mezcla, específicamente los agregados y del concreto premezclado como producto no es eficiente.

Seguidamente, con relación al volumen de mezcla de concreto premezclado entregado al cliente, este se evalúa comparando la cantidad de metros cúbicos solicitados con los despachados en el camión mezclador, por lo que se analizan los resultados de los ensayos de peso unitario y rendimiento del concreto premezclado, estos se pueden observar en las figuras 120, 121, 135, 136 y 137 en donde el cliente solicita un volumen de mezcla de 6 m^3 , de 5.5 m^3 , 6 m^3 , 6 m^3 , y 7.5 m^3 respectivamente, por lo que si se compara estos valores solicitados por el cliente con los resultados de los ensayos, los cuales son 6.09 m^3 , 5.7 m^3 , 6.01 m^3 , 6.15 m^3 y 7.77 m^3 respectivamente, se observa que se cumple satisfactoriamente, debido a que la cantidad entregada es levemente mayor a la solicitada. Se destaca que si el volumen entregado es menor al solicitado por el cliente no se estaría cumpliendo con lo solicitado, por otro lado, si se entrega una cantidad significativamente mayor al solicitado se estaría incurriendo en un desperdicio innecesario de material.

Por último, se analizan los resultados de la carta de balance, las cuales se encuentran en las tablas 53, 54, 55 y 56, en donde se observa que el diseño de mezcla 210-284-B en cargas de 6 m^3 muestra un porcentaje de 46.9% para el trabajo productivo, comparado con un 52.4% para el trabajo contributivo; por otro lado, para el diseño de mezcla TB-50-65-75/284 con el mismo volumen de carga que el diseño anterior, presenta un porcentaje de 54.2% para el trabajo productivo, mientras que el trabajo contributivo presenta un porcentaje de 45.8%. Esta diferencia de porcentajes de trabajo productivo y contributivo en cargas del mismo volumen se puede deber a que el diseño 210-284-B contiene una mayor cantidad de cemento por m^3 si se compara con la dosificación de TB-50-65-75/284, como se puede observar en las figuras 126 y 127 en el capítulo de anexos, debido a que de todos los materiales que conforman la mezcla, en la planta de producción, el que más tiempo tarda en llenar la tolva para medición de la cantidad es el cemento. Lo mencionado anteriormente se puede observar también si se compara el promedio del tiempo de carga de tolva de ambos diseños, donde la diferencia de estos promedios es de más de 2 minutos. Se continúa el análisis, donde se observa que el diseño, 280-284-A en cargas de 7 m^3 presenta un porcentaje de 53.6% para el trabajo contributivo y un porcentaje de 46.4% para el trabajo productivo, por otro lado, el diseño 280-284-B en cargas de 7 m^3 presenta un porcentaje de 46.8% para el trabajo productivo, mientras que el trabajo contributivo presenta un valor de 53.2%. Esta diferencia se puede deber a que para el diseño 280-284-A el operador de la planta no cargaba todos los materiales simultáneamente, a como sí lo pudo haber realizado para el diseño 280-284-B; además, se destaca que, la causa de la diferencia no puede ser la misma que para las cargas de 6 m^3 , pues, de que el diseño de mezcla 280-284-A presenta un porcentaje de trabajo productivo mayor en comparación con el diseño de mezcla 280-284-B, también es mayor el tiempo promedio de cargado de tolvas e inspección. Se puede observar la dosificación de 280-284-A en la figura 128.

Vilca Uzategui (2014) menciona que es necesario reducir el tiempo de los trabajos contributivos y no contributivos para aumentar la productividad; no obstante, esto no es del todo aplicable a los resultados de productividad de la planta, debido a que, según la ASTM, a partir de que se hayan cargado todos los materiales en el camión mezclador hasta que se hayan mezclado por completo, debe existir un período tal que permita entre 70 a 100 revoluciones; este tiempo se refleja en los resultados como tiempo de espera, por lo tanto, si el tanque tarda aproximadamente 4 segundos por revolución, este período de espera debería ser de entre 4.7 minutos a 6.7 minutos. Con base en lo mencionado anteriormente, se determina que en este proceso, una disminución del tiempo del trabajo contributivo podría afectar negativamente otros aspectos del producto; lo que sí es aplicable a lo que menciona en un principio, es la disminución de los trabajos no contributivos, los cuales son casi inexistentes en los resultados. Esto se puede deber a que el operador se encuentra en la cuarto de control, enfocado en la producción del concreto premezclado, cuando es necesario; es por eso que los porcentajes del trabajo no contributivo son de 0%, en la mayor parte de las mediciones. Esto se puede observar también en las figuras 13, 14 y 15, las cuales se presentan con el propósito de que

se pueda observar el proceso de elaboración de concreto premezclado, tanto según está ubicada la planta espacialmente, como si se realiza de forma lineal y progresiva.

Con base en lo descrito anteriormente, se puede observar que la productividad presenta deficiencias con respecto a la calidad del producto, esto debido a los incumplimientos encontrados anteriormente en el equipo, muestreo y procedimiento de los ensayos, determinado así, por aspectos que no son considerados o son omitidos, lo que puede generar alteraciones en los resultados obtenidos y de esta manera no conocer el comportamiento real del producto, además, en el tiempo de mezclado de los materiales, donde el periodo de mezclado este es muy corto, por lo que puede que la muestra obtenida del camión mezclador no sea representativa para todas los ensayos aplicadas; deben aplicarse medidas correctivas en estos aspectos para generar una mejorar y de esta manera alcanzar un control de calidad más completo, por otra parte, se observa que la productividad de la planta es adecuada con respecto al volumen de entrega solicitado, donde los ensayos observadas alcanzan el volumen solicitado por el cliente, y asimismo con los tiempos no contributivos, que como se puede observar son casi inexistente.

4.3 Propuestas de mejora del proceso de elaboración de concreto premezclado

En la presente sección se analizaron las propuestas de mejora establecidas en resultados, valorando los efectos que estas pueden tener y justificando el porqué de su planteamiento.

Se establecen cinco propuestas, con base en las principales deficiencias encontradas en el período de práctica y en el análisis de los resultados, además, estas deficiencias se hayan tanto en el departamento encargado del control de calidad del concreto premezclado, como en la planta de producción.

En análisis de las propuestas se realiza a continuación:

Revisión del muestreo y procedimiento de los ensayos realizadas

Se presenta esta propuesta debido a que como se observa en el análisis de los ensayos realizadas, existen casos donde el equipo utilizado no es el especificado y parte del procedimiento es omitido o se efectúa incorrectamente; de igual manera para muestreos, donde en ocasiones se realizan los ensayos con cantidades menores a las mínimas establecidas por las normas. Se debe destacar que esto ocurre tanto en ensayos aplicados a los agregados como al concreto premezclado.

Se encontró un artículo en el cual los autores realizan una gestión de calidad para mejora continua del proceso de producción de concreto premezclado. En este documento, AL-Saedi *et al.* (2019) menciona que garantizar la calidad ejerce un papel importante del mantenimiento del nivel de la calidad y las tolerancias aceptables para un consumidor de los productos procesados, además, que parte del aseguramiento de la calidad proviene de la prevención de defectos. Según lo mencionado anteriormente, se destaca la importancia del correcto control de calidad, para cumplir con los requerimientos de los consumidores y ofrecer los productos con la mayor calidad posible.

Considerando lo encontrado en el análisis de los ensayos y lo mencionado anteriormente, sobre la importancia de la gestión de la calidad, se propone que se realice un plan con hojas de verificación de todo el proceso a elaborar en cada una de los ensayos realizadas, donde se contemplen aspectos como equipo, muestreo, procedimiento y cálculo, además de un mayor acceso a las normas correspondientes a los ensayos y especificaciones aplicados a las muestras de agregado y concreto premezclado, donde los técnicos puedan verificar todos los aspectos de cada una con mayor profundidad.

Mejorar el proceso de curado de los cilindros de concreto para los ensayos de resistencia a la compresión

Esta propuesta se presenta debido a los incumplimientos encontrados en el análisis, donde los especímenes de concreto carecen en su totalidad de un curado inicial, además de periodos extensos hasta su colocación en los tanques de almacenamiento de agua para el curado final, los cuales puede comprender desde 1 hora hasta más de 24 horas, además, de periodos donde la temperatura supera los 25°C.

Medina (2016) menciona en su artículo titulado: “El curado del concreto en la construcción”, la importancia del procedimiento de curado, el cual consiste en mantener las condiciones adecuadas de humedad y temperatura el tiempo necesario hasta que el concreto alcance las especificaciones de resistencia esperadas, además destaca que, en el curado en tanques de agua, se debe regular la temperatura del agua, para así evitar daños en el material. Por lo anterior, se considera de vital relevancia el debido curado de los especímenes de concreto para los ensayos de determinación de la resistencia a la compresión, esto porque, un procedimiento incorrecto del curado tiende afectar sus característica y hacer que los resultados obtenidos en dicha ensayo no sean representativos de la mezcla entregada al consumidor.

Con base en lo mencionado anteriormente, es por lo que propone someter los cilindros a un curado inicial, el cual se puede realizar colocando los cilindros dentro de bolsas herméticas para evitar las pérdidas de humedad y no afectar las características de estos, además, situarlos en un lugar donde se proteja de agentes como la luz de sol directa y altas temperaturas, como puede ser el cuarto de control donde se puede adecuar una cámara para los cilindros. Por otra parte, para el mejoramiento del curado final, se debe asegurar que el tiempo entre retirado de los moldes hasta ser colocados en los tanques de almacenamiento no debe

ser mayor a 30 minutos, y lograr por medio del vertido de agua fría o hielo que la temperatura del tanque no supere los 25°C.

Realizar un mayor mantenimiento a la planta de concreto premezclado

Esta propuesta se muestra debido a que la planta de concreto premezclado presenta cierto grado de deterioro, suciedad y oxidación, principalmente las tolvas de almacenamiento, los silos de cemento, la estructura de la línea transportadora de agregados y el exterior del cuarto de control, además de piezas dañadas que han generado atrasos significativos en la producción. Se destaca la recomendación de usar el ácido muriático debido a que es la sustancia usada para remover el concreto de los camiones mezcladores, mientras que la pintura es para evitar la oxidación y remover la suciedad fácilmente, además de una mejor presentación de la planta.

Olarte, Botero & Cañón (2010) mencionan en su artículo titulado: “Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos industriales” que el mantenimiento industrial genera reducciones en los costos provocados por detenciones en la producción por fallos y daños irreparables en las máquinas, además, permite una correcta programación del cambio y mantenimiento de las piezas; por otro lado, el buen estado de las máquinas asegura la calidad de los productos. Con base en lo anterior, se recomienda a la empresa realizar un mantenimiento constante de la planta, para evitar posibles problemas, atrasos en la producción y garantizar el óptimo funcionamiento de todos los elementos en la planta.

Es por lo mencionado anteriormente, que se establece un plan inicial de mantenimiento para restaurar los elementos deteriorados, eliminando la oxidación de las tolvas, removiendo suciedad de la línea transportadora y exterior del cuarto de control y colocando pintura sobre estas para su protección, y por último la reparación o sustitución de las piezas dañadas.

Por otra parte, se recomienda además, elaborar un plan de mantenimiento de la planta, para evitar el deterioro de esta y garantizar el óptimo estado de todos sus componentes.

Proteger de mejor manera las muestras de concreto premezclado

Esta propuesta se plantea debido a que, en ocasiones, la muestra de concreto premezclado se encuentra expuesta a condiciones ambientales como los rayos directos del sol y el agua de lluvia, lo cual puede provocar alteraciones en su características y por lo tanto, también afectaría los ensayos aplicadas a dicha muestra.

La INTECO, menciona que la muestra, después de ser obtenida, debe ser protegida de sol, viento y demás fuentes que puedan provocar una rápida evaporación y de contaminación. Debido a esto es necesario que las muestras obtenidas en la planta de producción estén protegidas, tanto del sol que puede provocar

pérdidas de agua y de la lluvia, que por el contrario, puede proveerle más agua de la necesaria a la mezcla. Estas variaciones en la cantidad de agua pueden generar que los resultados de los ensayos como de asentamiento, temperatura y determinación de la resistencia a la compresión no sean representativas del concreto entregado al consumidor.

Para evitar que las muestras de concreto premezclado sean alteradas por los rayos directos del sol, la lluvia, entre otros, se propone la colocación de una estructura de techo con el tamaño adecuado para protegerla. Esta estructura tiene estar a la altura del techo del cuarto de control para evitar que los camiones mezcladores puedan impactar contra esta, además, debe cubrir el área de realización de ensayos, la zona de descarga de las muestras de los camiones mezcladores, además, de extenderse hasta el almacenaje de aditivos y al cuarto donde permanece el técnico de control de calidad y el equipo utilizado en los ensayos.

Mezclar el concreto premezclado completamente

Se presenta esta propuesta debido a que en el proceso de elaboración de concreto premezclado en la planta de producción, luego de que se han cargado todos los materiales, estos se mezclan por un periodo generalmente menor a 1 minuto, para luego ser revisados por el técnico de control de calidad, para las respectivos ensayos; esto no permite que el concreto se mezcle correctamente y genera eventuales variaciones en la muestra.

La ASTM, menciona que, para que una completa mezcla del concreto, el tanque de mezclado debe girar entre 70 a 100 revoluciones, de esta manera se asegura que la mezcla producida se encuentra uniforme. Con base en lo anteriormente mencionado, se propone el periodo de mezclado entre 5 y 6 minutos, debido a que el tanque tarda aproximadamente 4 segundos en una revolución, así, si se multiplica este tiempo con las revoluciones que debe dar y se divide entre 60 segundos, se obtiene como resultado un periodo de entre 4.67 y 6.7 minutos.

Si la muestra de concreto premezclado se obtiene antes de que los materiales se encuentren completamente mezclados, la muestra no es representativa de la entregada al cliente y por lo tanto, tampoco los resultado de dicha muestra, por lo que se desconocerá el comportamiento real de esta.

Con base en lo mencionado anteriormente, se propone que se determinen las revoluciones adecuadas a las que el tanque del camión mezclador debe de girar durante el cargado de material, además, de las revoluciones que debe girar dicho tanque para mezclar adecuadamente todos los materiales cargados. Por otra parte, después de encontrar estos valores de giro, se debe asegurar que el tiempo de mezclado sea el correcto para que el tanque gire las revoluciones necesarias, esto por medio de conteos o mediciones de este tiempo por parte del operador de la planta. Garantizando así que las muestras entregadas al técnico de control de calidad para la realización de los ensayos sean representativas al concreto premezclado entregado al cliente.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos en los ensayos aplicadas a los agregados y al concreto premezclado, se concluye que el desempeño del concreto premezclado producidos en la planta de concreto presenta una serie de inconformidades, principalmente en el muestreo y procedimiento de los ensayos, además de incumplimientos encontradas en dos equipos. La información necesaria para establecer esta conclusión se obtuvo tras evaluar tres componentes principales, los cuales son: verificar los agregados, analizar el concreto premezclado y comprobar el comportamiento de los aditivos.

Se establece que los agregados utilizados en la producción del concreto premezclado presentan incumplimientos, principalmente el agregado fino, como módulos de finura levemente superiores al límite máximo, porcentajes acumulados pasando por tamiz fuera de los límites establecidos o muy cercanos a estos, además, en los ensayos de granulometría en ambos agregados se incurre en el error de no utilizar todos los tamices necesarios para asegurar el cumplimiento de los requisitos de graduación, asimismo, existen aspectos que deben mejorarse en el muestro y procedimiento de los ensayos realizadas, debido a que se encontraron varios incumplimientos; esto, para un proceso de control de calidad de la empresa más completo.

De igual manera, existen deficiencias en los ensayos aplicadas al concreto premezclado, las cuales hacen que las muestras no sean totalmente representativas del concreto entregado; no obstante, a pesar de dichos aspectos que provocan una disminución en la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto, estos cumplen casi en su totalidad y los que no lo hacen, se consideran casos aislados de incumplimiento.

Además, de la comprobación de los aditivos se concluye que estos cumplen con las características establecidas por el proveedor, los problema en cuanto a desempeño durante los ensayos de concreto fresco y endurecido no es responsabilidad del aditivo, sino de los siguientes agentes, un inadecuado proceso de conformación, además, de un mal procedimiento de mezclado.

Se destaca que los diseños de mezcla elaborados y producidos en la empresa no se pudieron comprobar debido a que no se obtuvo acceso total necesario a la memoria de cálculo para realizar la comprobación correspondiente, asimismo aspectos en el módulo de finura y la granulometría de los agregados que deben ser considerados en esta.

Se concluye que los incumplimientos encontrados en la planta de concreto premezclado afecta la calidad del producto, debido a que los materiales no se alcanzan a mezclar adecuadamente porque este

periodo es muy reducido, por otra parte, es evidente el deterioro y la falta de un correcto mantenimiento, por el estado en que se observan varios componentes de la planta.

Con respecto al segundo objetivo específico, se concluye con respecto a los indicadores de productividad de la planta, que los tiempos muertos o tiempos de trabajo no contributivos son casi inexistentes, debido a que estos, en la mayoría de las mediciones, tomaron valores de 0, asimismo, para el volumen de concreto premezclado entregado según lo solicitado por el cliente, donde en todos los resultados de los ensayos de peso unitario y rendimiento este valor fue superior a la cantidad requerida por el cliente. Por otra parte, se encontró una deficiencia en los tiempos de mezclado del concreto antes de realizarse los ensayos de rutina de control de calidad, los cuales son muy inferiores a los establecidos, lo cual se mencionó anteriormente en esta sección.

Los incumplimientos encontrados en los resultados son evidencia de las deficiencias que presenta el departamento de control de calidad de la empresa, sin embargo, no se establece que se realice un mal control de la calidad de los productos, cabe indicar que existe un margen importante de mejora, por otra parte; El impacto que generan los incumplimientos se pueden ver reflejados en una baja calidad en los productos de la empresa, en este caso el concreto premezclado y sus agregados, además de la no representatividad de los resultados de las muestras con respecto a los productos.

Finalmente, se concluye el proyecto presentando propuestas de mejora de las principales deficiencias encontradas en la producción de concreto premezclado.

La primer deficiencia encontrada fue la determinación de incumplimientos en el equipo, muestreo y procedimiento en algunas de los ensayos aplicadas a los agregados y al concreto premezclado, por lo que se propone la elaboración de un plan con hojas de verificación de todo el proceso a desarrollar en cada una de los ensayos , para garantizar que se cumpla con lo especificado, además, de facilitar el acceso a las normas referentes al control de calidad de los agregados. La segunda deficiencia encontrada es la no aplicación de un curado inicial a los cilindros de concreto, además, de incumplimientos en el curado final, por lo que se establece que los cilindros deben ser sometidos a un curado inicial por medio de la colocación de estos en bolsas herméticas y situarlos en un lugar con condiciones de temperatura controlada y sin el impacto de los rayos del sol directo, además, de evitar que la temperatura en el tanque de almacenamiento para el curado final sea mayor a los 25°C y no superar un periodo de 30 minutos desde el retirado del molde hasta su colocación en el tanque.

Se observó que la planta presenta elementos cierto grado de deterioro, por lo que se propone eliminar la oxidación de las tolvas, remover la suciedad de la línea transportadora y el exterior del cuarto de control y aplicar pintura a estas partes, así como a los silos para su protección y reparar o sustituir las piezas dañadas en las tolvas, se destaca que, se debe aplicar un mantenimiento constante a la planta para evitar su deterioro. También se determinó que las muestras de concreto premezclado son propensas a ser afectadas por los rayos de sol y el agua de lluvia, por lo que se recomienda colocar una estructura de techo que cubra las áreas

principalmente las áreas donde se realizan los ensayos de control de calidad como también donde se descargan las muestras del camión mezclador. Finalmente, se determinó que el tiempo de mezclado no es el correcto, debido a que este periodo no supera el minuto en la mayoría de las mediciones, por lo que se establece que se debe encontrar primero las revoluciones a las que debe de girar el tanque de mezclado, posteriormente el tiempo correcto que debe transcurrir hasta que todos los materiales estén debidamente mezclados, y asegurar por medio de conteos o mediciones que se cumpla con este periodo.

Recomendaciones

Se recomienda a la empresa que para una verificación del diseño de mezcla se deben considerar los incumplimientos encontrados dentro del proyecto, además, de analizar el paso a paso del establecimiento de dicho diseño, esto con el fin de asegurar que se estén elaborando de forma adecuada, para cumplir satisfactoriamente con los requisitos del control de calidad y con los establecidos por el cliente.

Al Departamento de Control de Calidad se recomienda aplicar periódicamente varios ensayos a las mismas muestras de agregado y concreto en premezclado, para analizar la precisión de sus procesos de realización de ensayos.

Se recomienda al Departamento de Control de Calidad, que para los ensayos de granulometrías del agregado se utilicen todos los tamices necesarios, asimismo, no alterar los resultados del porcentaje retenido por tamiz para alcanzar los errores de 0%, para así poder determinar correctamente las características de estos.

De la misma manera, se recomienda al Departamento de Control de Calidad, respecto de los ensayos a los aditivos, realizarlas más periódicamente y con más tipos de aditivos, para así conocer el respectivo comportamiento y comprobar lo que establecen las fichas técnicas; además de conocer cómo proceden estos aditivos en diferentes condiciones.

Por otra parte, se recomienda a los colaboradores de la empresa que permanecen por periodos extensos en la planta de concreto premezclado, el uso de equipo de protección como lentes de seguridad y mascarillas; esto, debido a que, cuando se está cargando el cemento en el camión mezclador, una cantidad importante de cemento queda suspendido en el aire.

A la empresa se le recomienda establecer un plan de tratamiento de las muestras de concreto, desechado y desperdiciado sin un control correcto, equivalente a varios kilos al día, lo que provoca una contaminación mayor.

También, se recomienda a la empresa mejorar el estado de los camiones mezcladores mediante del mantenimiento preventivo de las unidades; esto, debido a que en varias ocasiones presentaron averías que afectan la entrega del concreto y provocan su desperdicio o la entrega tardía al cliente.

Además, se recomienda a la empresa utilizar la normativa vigente y más actualizada, preferiblemente la que se ha desarrollado a nivel nacional en INTECO.

Finalmente, se recomienda a los profesionales que quieran realizar una evaluación del concreto o algún otro material por medio de normas estandarizadas, elaborar un plan de control de calidad, que contemple el muestreo, procedimientos y demás etapas que conforman los ensayos, por lo que se deben estudiar dichas normas con antelación, para conocer cuáles aspectos deben visualizar y analizar desde un inicio del proyecto. Además, tomar toda la evidencia fotográfica posible de cada parte del proceso de ensayo, desde el equipo, muestra, procedimiento e incluso los resultados, para presentar la comprobación del análisis de las normas.

Referencias

AASHTO. (2021). *M 157-13 (2021): Standard Specification for Ready Mixed Concrete*.

Aguilar Gordón, F. del R., Abril Ordoñez, J. K., & Santander Quinaluisa, S. I. (2022). Estrategias metodológicas para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de matemática en noveno año educación general básica. *Societas Revista de Ciencias Sociales y Humanísticas*, 24(2).

Al-Saedi, A., Paslawski, J., & Nowotarski, P. (2019). Quality Management to continuous improvements in process of Ready-Mix Concrete production. *IOP Conference Series*. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/518/2/022019>

American Concrete Institute (1991). *ACI 211.1-91 Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto normal, pesado y masivo*.

American Concrete Institute. (2010). *Report on Chemical Admixtures for Concrete*.

American Society for Testing Materials International *C29 Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*.

American Society for Testing Materials International. *C33 Standard Specification for Concrete Aggregates*.

American Society for Testing Materials International. *C39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*.

American Society for Testing Materials International *C94 Standard Specification for Ready-Mixed Concrete*

American Society for Testing Materials International. *C117 Standard Test Method for Materials finer than 75 μm (N.º 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*.

- American Society for Testing Materials International. *C128 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and absorption for Fine Aggregate*.
- American Society for Testing Materials International. *C136 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*.
- American Society for Testing Materials International. *C138 Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete*
- American Society for Testing Materials International. *C470 Standard Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically*
- American Society for Testing Materials International. *C494 Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*.
- American Society for Testing Materials International. *C566 Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*.
- American Society for Testing Materials International. *C1077 Standard Practice for Agencies Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Testing Agency Evaluation*.
- Batwara, A., Sharma, V., Makkar, M., & Giallanza, A. (2023). Towards smart Sustainable Development through Value Stream Mapping – A Systematic Literature review. *Heliyon*, 9(5), e15852. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15852>
- Besterfield, D. (2009). *Control de calidad* (8.^a ed.). Pearson Prentice Hall
- Chase, R. B., Aquilano, N. J., & Jacobs, F. R. (2000). *Administración de Producción y Operaciones: manufactura y servicios*. McGraw-Hill.
- Concrepal. (2021). *Nuestra Empresa*. Recuperado 27 de abril de 2023, de <https://www.concrepal.com/nuestra-empresa/>
- Crisostomo Madueño, D. (2018). *El comportamiento del concreto premezclado y el concreto por mezcladora (in situ); uso y aplicación en las obras de edificación en el distrito de Guadalupe- ICA*. Universidad Alas Peruanas.

- Delgado Castro, J. A., Muñoz Umaña, F. M., & Rodríguez Rojas, E. (2020). Desarrollo de resistencia a la compresión en concreto con cementos modificados. *Métodos y materiales*, 10. <https://doi.org/10.15517/mym.v9i0.36101>
- Filio Chagua, F. C. (2019). Evaluación y análisis de la influencia de curado acelerado por el método de agua caliente en la resistencia a la compresión de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, en la Provincia y Región de Pasco. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Gómez Rodríguez, D. T., Carranza Abellá, Y., & Ramos Pineda, C. A. (2016). Revisión documental, una herramienta para el mejoramiento de las competencias de lectura y escritura en estudiantes universitarios. *Chakiñan: Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 1, 46-56. <https://doi.org/10.37135/chk.002.01.04>
- Gutiérrez de López, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción (2.a ed.). Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales.
- Guevara-Fallas, G., Hidalgo-Madrigal, C., Pizarro-García, M., Rodríguez-Valenciano, I., Rojas-Vega, L. D., & Segura-Guzmán, G. (2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Tecnología en Marcha*, 25(2), 80. <https://doi.org/10.18845/tm.v25i2.1632>
- Harmesen, T. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado* (3.ª ed.). Pontifica Universidad Católica del Perú.
- Heizer, J., & Render, B. (2009). *Principios de Administración de operaciones* (7.ª ed.). Pearson Prentice Hall
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación* (5.ª ed.). McGraw-Hill.
- ICCYC & CFIA. (2020). *Calidad del Concreto hecho en obra GAM 2020*.
- IMCYC. (2009). Cementos hidráulicos: Especificaciones y métodos de prueba. *Concreto en obra: Problemas, causas y soluciones*, 1(22), 68-71.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. *INTE C17 Muestreo de concreto recién mezclado*.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. *INTE C19 Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo en el campo*.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. *INTE C41 Asentamiento para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire del concreto por método gravimétrico*.

- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. *INTE C43 Medición de temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado.*
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. *INTE C72 Método para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire del concreto por el método gravimétrico.*
- Kazaz, A., Ulubeyli, S., Er, B., Arslan, V., Arslan, A., & Atici, M. (2015). Fresh Ready-mixed Concrete Waste in Construction Projects: A Planning Approach. *Procedia Engineering*.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.088>
- Li, S., Fang, Y., & Wu, X. (2020). A Systematic review of lean construction in mainland China. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120581. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120581>
- Medina, W. (2016). El Curado del Concreto en la Construcción. *Revista L'esprit Ingénieux*, 73-81.
- Medina Fernández de Soto, J. E. (2010). Modelo integral de productividad, aspectos importantes para su implementación. En *Revista EAN* (Vol. 69, pp. 110-119).
- Muciño Vélez, A., & Santa Ana Lozada, P. (2017). *Práctica 9: Diseño de mezclas de concreto*. LEMSE.
- Objetivos de Desarrollo Sostenible Costa Rica. (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Recuperado 27 de abril de 2023, de <https://ods.cr/>
- OIT. (1996). *Introducción al estudio del trabajo* (4.^a ed.).
- Olarte, C. W., Botero, A. M., & Cañón, B. (2010). Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción. *Scientia Et Technica*, 16(44), 354-356.
<https://doi.org/10.22517/23447214.1867>
- Ortega García, J. E. (2015). *Diseño de estructuras de concreto armado* (Vol. 1). Editorial Macro.
- Pacheco, J. N., De Brito, J., Chastre, C., & De Brito, J. (2019). Statistical analysis of Portuguese ready-mixed concrete production. *Construction and Building Materials*, 209, 283–294.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.089>
- Pasquel Carvajal, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú* (2.^a ed.).
- Pérez Gómez Martínez, G. J. F., Del Toro Botello, H. Y., & López Montelongo, A. M. (2019). Mejora en la construcción por medio de Lean Construction y Building Information Modeling: caso estudio. *Revista*

- de investigación en tecnologías de la información, 7(14), 110-121.
<https://doi.org/10.36825/riti.07.14.010>
- Puga Sierra, K. A. (2012). *Propuesta de un modelo de gestión por procesos aplicados a la flota petrolera ecuatoriana*. Universidad Central del Ecuador.
- Quintana, A. (1996). Un modelo de aproximación empírica a la investigación en psicología y ciencias humanas. *Revista Peruana de Psicología*, 1(1), 7-25.
- Ruiz Pérez, R. J. (2021). *Influencia del tiempo de mezclado en las propiedades del concreto premezclado en estado fresco en la ciudad de Tarapoto*. Universidad Científica del Perú.
- Ruiz Ramírez, J. (2010). Importancia de la investigación. *Revista Científica*, 20(2), 125-126.
- Sahesa. (2020). *SH Ergo R175: Aditivo Fluidificante a base de poliacrílicos modificados. (Para largo tiempo de trabajabilidad)*. <https://sahesa.com/producto/ergomix-175r/>
- Sahesa. (2020). *SH Fluxi RDS: Aditivo plastificante reductor de agua y retardante*. <https://sahesa.com/producto/ergomix-175r/>
- Sanchis Gisbert, R. (2020). *Diagramación de procesos*. Universitat Politècnica de València.
- Santana, L. D. (2010). *Investigación cualitativa: La vía más idónea para interpretar y comprender la dinámica social*.
- Santos Guerra, M. A. (1993). *Hacer visible lo cotidiano: Teoría y práctica de la evaluación cualitativa de centros escolares* (2.^a ed.). Editorial Akal.
- Sira, S. (2011). Aplicación tecnológica del Diagrama Hombre-Máquinas. En *Ingeniería UC* (Vol. 18, Número 3, 17-28).
- Vilca Uzategui, M. P. (2014). *Mejora de la productividad por medio de las cartas de balance en las partidas de solaqueo y tarrajeo de un edificio multifamiliar*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas
- Vásquez Martínez, E. C., & Castañeda Rica, R. A. (2018). *Propuesta de mejora continua en la calidad del producto terminado en la producción del concreto*. Instituto Politécnico Nacional.

Apéndices

Apéndice 1: Registro fotográfico	146
--	-----

Apéndice 1: Registro fotográfico

Figura 16. Horno para secar muestras.



Figura 17. Tamices anidados de 1.18 mm y 0.075 mm.



Figura 18. Balanza y precisión de balanza



Figura 19. Procedimiento de ensayo de materia que pasa por el tamiz 0.075 mm



Figura 20. Procedimiento de ensayo de materia que pasa por el tamiz 0.075 mm



Figura 21. Procedimiento de ensayo de materia que pasa por el tamiz 0.075 mm



Figura 22. Procedimiento de ensayo de materia que pasa por el tamiz 0.075 mm



Figura 23. Procedimiento de ensayo de materia que pasa por el tamiz 0.075 mm



Figura 24. Procedimiento de ensayo de materia que pasa por el tamiz 0.075 mm



Figura 25. Agitador mecánico y tamices para el ensayo de granulometría para agregado fino



Figura 26. Procedimiento del ensayo de granulometría al agregado fino



Figura 27. Procedimiento del ensayo de granulometría al agregado fino



Figura 28. Procedimiento del ensayo de granulometría al agregado fino



Figura 29. Procedimiento del ensayo de granulometría al agregado fino



Figura 30. Procedimiento del ensayo de granulometría al agregado fino



Figura 31. Equipo para el ensayo de contenido de humedad



Figura 32. Equipo para el ensayo de contenido de humedad



Figura 33. Procedimiento del ensayo de contenido de humedad



Figura 34. Procedimiento del ensayo de contenido de humedad



Figura 35. Equipo para el ensayo de peso unitario para agregado fino



Figura 36. Varilla de apisonamiento de 300 mm.



Figura 37. Procedimiento del ensayo de peso unitario para agregado fino



Figura 38. Procedimiento del ensayo de peso unitario para agregado fino



Figura 39. Procedimiento del ensayo de peso unitario para agregado fino



Figura 40. Procedimiento del ensayo de peso unitario para agregado fino



Figura 41. Procedimiento del ensayo de peso unitario para agregado fino



Figura 42. Equipo para ensayo de densidad relativa y absorción del agregado fino

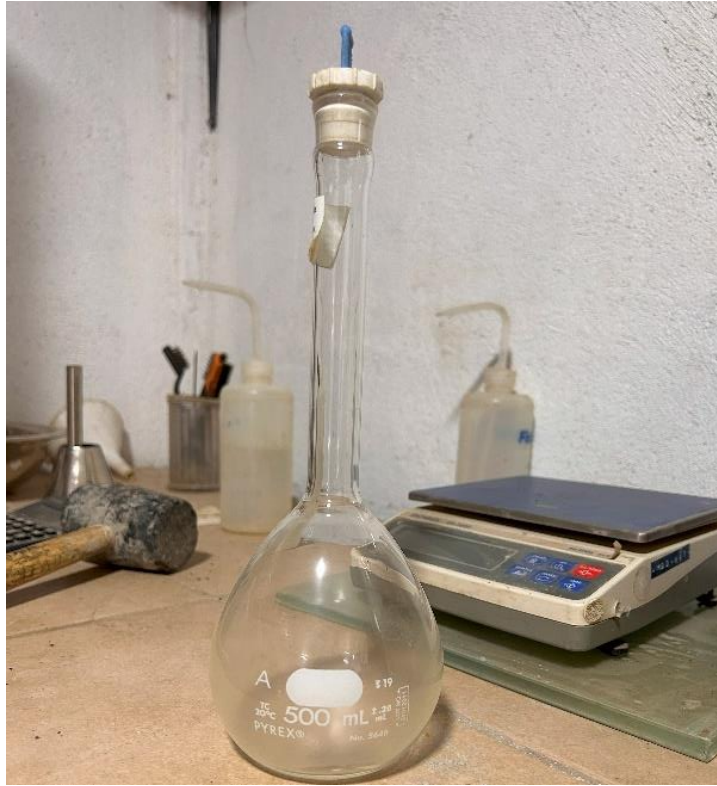


Figura 43. Equipo para ensayo de densidad relativa y absorción del agregado fino



Figura 44. Procedimiento de ensayo de densidad relativa y absorción del agregado fino



Figura 45. Equipo para ensayo de densidad relativa y absorción del agregado fino



Figura 46. Procedimiento ensayo de densidad relativa y absorción del agregado fino



Figura 47. Procedimiento ensayo de densidad relativa y absorción del agregado fino



Figura 48. Procedimiento ensayo de densidad relativa y absorción del agregado fino

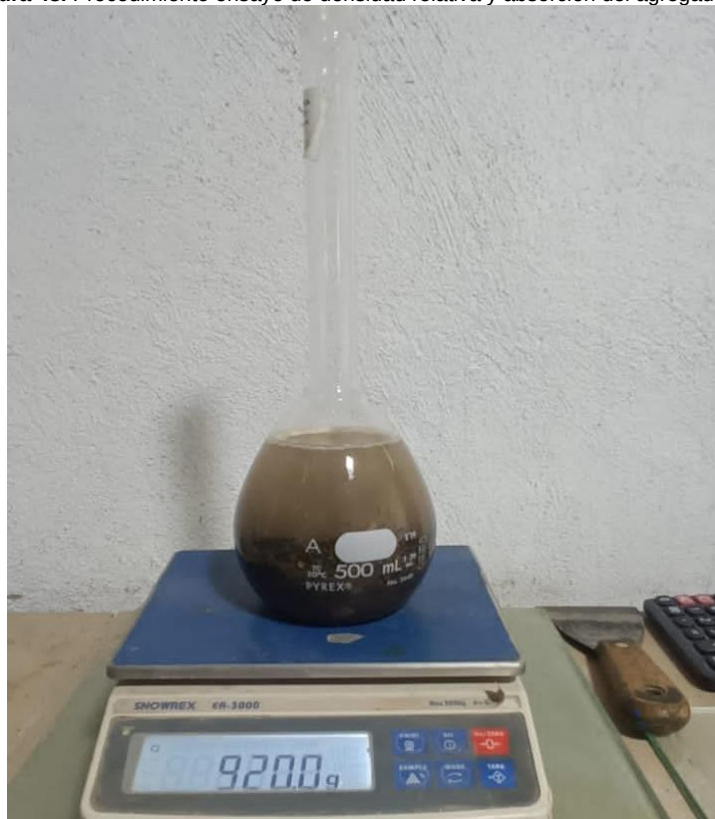


Figura 49. Varilla de apisonamiento de 600 mm.



Figura 50. Cuchara.



Figura 51. Moldes para el ensayo de asentamiento



Figura 52. Llaneta



Figura 53. Medidor de temperatura



Figura 54. Medidor de temperatura.



Figura 55. Procedimiento del ensayo de determinación de temperatura



Figura 56. Procedimiento del ensayo de determinación de temperatura



Figura 57. Procedimiento del ensayo de determinación de temperatura



Figura 58. Procedimiento del ensayo de asentamiento



Figura 59. Procedimiento del ensayo de asentamiento



Figura 60. Procedimiento del ensayo de asentamiento



Figura 61. Procedimiento del ensayo de asentamiento



Figura 62. Procedimiento del ensayo de asentamiento



Figura 63. Procedimiento del ensayo de asentamiento



Figura 64. Procedimiento de conformación de los cilindros



Figura 65. Procedimiento de conformación de los cilindros.



Figura 66. Procedimiento de conformación de los cilindros



Figura 67. Procedimiento de conformación de los cilindros



Figura 68. Procedimiento de conformación de los cilindros.



Figura 69. Procedimiento de conformación de los cilindros



Figura 70. Área de almacenamiento inicial de los cilindros



Figura 71. Equipo del ensayo de determinación de la resistencia a la compresión



Figura 72. Equipo del ensayo de determinación de la resistencia a la compresión



Figura 73 Equipo del ensayo de determinación de la resistencia a la compresión



Figura 74. Equipo del ensayo de determinación de la resistencia a la compresión



Figura 75 Equipo del ensayo de determinación de la resistencia a la compresión



Figura 76. Equipo del ensayo de determinación de la resistencia a la compresión



Figura 77. Procedimiento de la determinación de la resistencia a la compresión



Figura 78. Moldes reutilizables para la elaboración de cilindros de concreto



Figura 79. Moldes reutilizables para la elaboración de cilindros de concreto



Figura 80. Moldes reutilizables para la elaboración de cilindros de concreto



Figura 81. Muestreo de concreto de los camiones mezcladores



Figura 82. Recipiente para los ensayo de peso unitario al concreto premezclado



Figura 83. Procedimiento de los ensayos de peso unitario al concreto premezclado



Figura 84. Procedimiento de los ensayos de peso unitario al concreto premezclado



Figura 85. Procedimiento de los ensayos de peso unitario al concreto premezclado



Figura 86. Procedimiento de los ensayos de peso unitario al concreto premezclado



Figura 87. Procedimiento de los ensayos de peso unitario al concreto premezclado



Figura 88. Mazo



Figura 89. Temperatura exterior e interior del cuarto de curado



Figura 90. Deterioro en compuertas de la tolva y piezas mecánicas

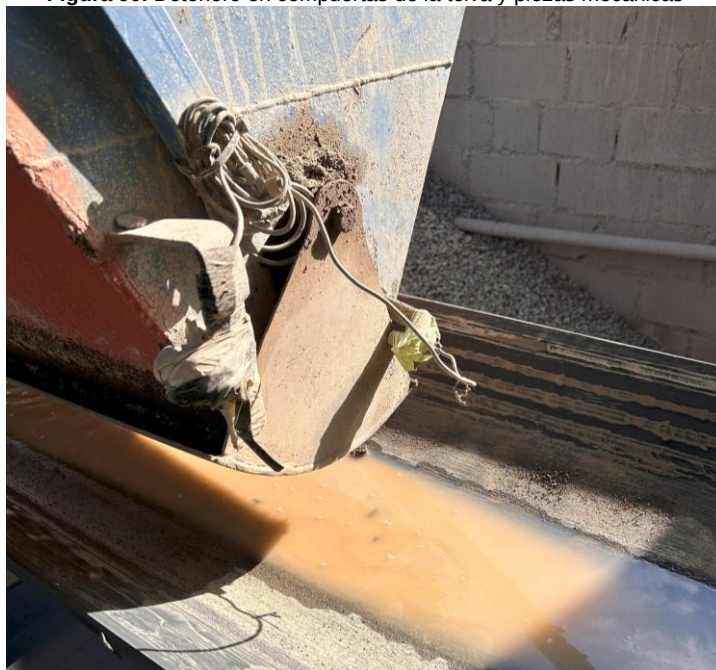


Figura 91. Deterioro en compuertas de la tolva y piezas mecánicas

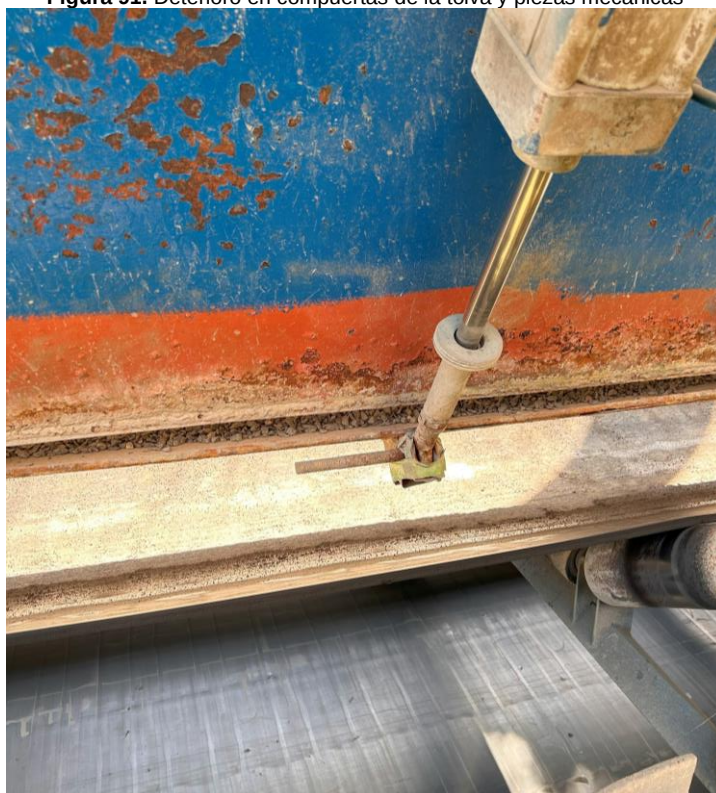


Figura 92. Controles de la planta de concreto premezclado



Figura 93. Controles de la planta de concreto premezclado



Figura 94. Silos de cemento y almacén de aditivos



Figura 95. Descarga de material en el camión mezclador



Figura 96. Descarga de material en el camión mezclador



Anexos

Anexo 1: Registro de resultados de los ensayos del laboratorio del Departamento de Control de Calidad188

Anexo 1: Registro de resultados de los ensayos del laboratorio del Departamento de Control de Calidad

Figura 97. Registro de control de agregados en laboratorio

CONCREPAL		REGISTRO DE CONTROL DE AGREGADOS EN LABORATORIO		Código: R10-BC	
Versión: 04		Página: 12 de 50		Consecutivo: 730	
Elaborado por: E. Brenes	Revisado por: Comité de Calidad	Aprobado por: P. Castillo	Fecha de aprobación: 28/10/2022		
PRODUCTO Arena Rio	A1	PROCEDENCIA Barranca	A4		
FECHA DE MUESTREO 19-06-23	A2	FECHA DE ENSAYO 22-06-23	A5		
SITIO DE MUESTREO Stock	A3	Realizó: H. Higuera	A6		
OBSERVACIONES: A7					
Humedad total (ASTM C-566) APARTADO 2			% Pasando Maya 200 (ASTM C-117) APARTADO 3		
Peso Muestra + Recipiente, g	186.6	Peso Seco Inicial	649	Peso Inicial	642.6
Peso de Recipiente, g	196.6	Menos Peso Recipiente	196.6	Peso Recipiente	196.6
Peso muestra Original W, g	500	Peso Inicial, g	452.4	Peso Final	446
Peso Muestra Seca + Recip, g	649	DIF MASA		6.4	
Peso de recipiente, g	196.6	% Pasando Maya 200. F % = B-C/B*100 =		1.41	
Peso de muestra seca D, g	452.4				
HUMEDAD TOTAL h% = 100 x (W-D) / D	10.5				
Granulometría (ASTM C 136) APARTADO 4					
Tipos de tamis a utilizar según material	TAMIZ		Massa		
	Pulgadas	Milímetros	kg		
Sub B	2.5"	62.5mm	-		
Sub B - B 11/2	2"	50 mm	-		
****	1.5"	37.5 mm	-		
Sub B - B 11/2 - 4ta	1"	25mm	-		
B 11/2 - 4ta - 5ta	3/4"	19mm	-		
Sub B - 4ta - 5ta - Fino	1/2"	12.7 mm	-		
4ta - 5ta - Fino	3/8"	9.5mm	-		
Sub B - B 11/2 - 4ta - 5ta - Fino	4	4.75 mm	13.7		
5ta - Fino	8	2.36 mm	24.3		
Fino	16	1.18 mm	91.3		
Fino	30	600 µm (0.600mm)	101.1		
Sub B - B 11/2 - Fino	40	425 µm	-		
Fino	50	300 µm	96.2		
Fino	100	150 µm	46.4		
Sub B - B 11/2 - 4ta - 5ta - Fino	200	75 µm	10.3		
CHAROLA			2.7		
TOTAL			446	D2	
% ERROR				D3	

Concrepal
REVISADO
Control de Calidad

M/F = 312

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización de CONCREPAL Barranca.

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 98. Registro de control de agregados en laboratorio

CONCREPAL		REGISTRO DE CONTROL DE AGREGADOS EN LABORATORIO.		Código: R10-BC Versión: 04 Página: de	
Gravedad específica y absorción (ASTM C-128)			APARTADO 5	APARTADO 7	
A	Masa de la muestra seca al horno, g		487.4	Contenido de	
B	Picnómetro con agua hasta Calibración		666.3	Material Orgánico	
C	Picg + Agua + Muestra, Hasta Calibración		989.1	ASTM C 40	
S	Masa de Especimen S.S.S. g		500	COLOR 1	
				COLOR 2	
				PATRON 3	
				COLOR 4	
				COLOR 5	
Gravedad Específica y Absorción (ASTM C-127)			APARTADO 6		
A	MASA DE MUESTRA SECADA AL HORNO, g		N		
B	MASA DE LA MUESTRA SSS, g				
C	MASA DE LA MUESTRA SUMERGIDA EN H ₂ O, g		A		
Pesos unitarios (ASTM C-29)			APARTADO 8		
PESO Kg DE RECIPIENTE		H1	VOLUMEN en m ³		
Datos de masas en Kg.		HUMEDO SUELTO		SECO SUELTO	
		1	2	3	1
Peso Muestra + Recipiente		6971	6074	6071	6645
Peso Neto Muestra		3516	3519	3516	4090
Peso Unitario Kg/M ³		1239	1240	1239	1491
PROMEDIO		1239		1483	

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 99. Registro de control de agregados en laboratorio

CONCREPAL		REGISTRO DE CONTROL DE AGREGADOS EN LABORATORIO		Código: R10-BC Versión: 04 Página: 9 de 50 Consecutivo: 727 Fecha de aprobación: 28/10/2022	
Elaborado por:	E. Brenes	Revisado por:	Comité de Calidad	Aprobado por:	P. Castillo
PRODUCTO	A.R. Barranca 47A	A1	PROCEDENCIA	Barranca	A4
FECHA DE MUESTREO	15-06-23	A2	FECHA DE ENSAYO	17-06-23	A5
SITIO DE MUESTREO	Stock	A3	Realizó:	Mauricio S	A6
OBSERVACIONES: A7					
Humedad total (ASTM C-566) APARTADO 2			% Pasando Maya 200 (ASTM C-117) APARTADO 3		
Peso Muestra + Recipiente, g			Peso Seco Inicial	Peso Inicial	
2838.8			2782.6	2740.8	
Peso de Recipiente, g			Menos Peso Recipiente	Peso Recip	
232.8			237.8	232.8	
Peso muestra Original W, g			Peso Inicial, g	Peso Final	
2600.5			2544.8	2523.0	
Peso Muestra Seca + Recip, g			DIF MASA		
2782.6					
Peso de recipiente, g			% Pasando Maya 200. F % = B-C/B * 100 =		
237.8					
Peso de muestra seca D, g					
2544.8					
HUMEDAD TOTAL h% = 100 x (W-D) / D					
Granulometría (ASTM C 136)			APARTADO 4		
Tipos de tamis a utilizar según material	TAMIZ		Masa		Retenida
	Pulgadas	Milímetros	kg		
Sub B	2.5"	62.5mm	11.1A		
Sub B - B 11/2	2"	50 mm			
****	1.5"	37.5 mm			
Sub B - B 11/2 - 4ta	1"	25mm			
B 11/2 - 4ta - 5ta	3/4"	19mm	75.5		
Sub B - 4ta - 5ta - Fino	1/2"	12.7 mm	110.6		
4ta - 5ta - Fino	3/8"	9.5mm	97.6		
Sub B - B 11/2 - 4ta - 5ta - Fino	4"	4.75 mm	333.1		
5ta - Fino	8"	2.36 mm			
Fino	16"	1.18 mm			
Fino	30"	600 µm (0.600mm)			
Sub B - B 11/2 - Fino	40"	425 µm			
Fino	50"	300 µm			
Fino	100"	150 µm			
Sub B - B 11/2 - 4ta - 5ta - Fino	200"	75 µm	25.5		
CHAROLA			3.7		
TOTAL			2523		
% ERROR			0%		

Concrepal
REVISADO
Control de Calidad

MP = 2.33

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización de CONCREPAL Barranca.

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 100. Registro de control de agregados en laboratorio

CONCREPAL		REGISTRO DE CONTROL DE AGREGADOS EN LABORATORIO.		Código: R18-BC Versión: 04 Página: de	
Gravedad específica y absorción (ASTM C-128)			APARTADO 5	APARTADO 7	
A	Masa de la Muestra secada al Horno, g			Contenido de	
B	Picnómetro con agua hasta Calibración			Material Orgánico	
C	Picg.+Agua+Muestra, Hasta Calibración			ASTM C 40	
S	Masa de Specimen S.S.S g			COLOR 1	
				COLOR 2	
				PATRON 3	
				COLOR 4	
				COLOR 5	
Gravedad Específica y Absorción (ASTM C-127)			APARTADO 6		
A	MASA DE MUESTRA SECADA AL HORNO, g				
B	MASA DE LA MUESTRA SSS, g				
C	MASA DE LA MUESTRA SUMERGIDA EN H ₂ O, g				
Pesos unitarios (ASTM C-29)			APARTADO 8		
PESO Kg DE RECIPIENTE		4710	VOLUMEN en m ³	0.00940	
Datos de masas en Kg.			HUMEDO SUELTO	SECO SUELTO	
			1 2 3	1 2 3	
	Peso Muestra + Recipiente		13995 14004 13842		
	Peso Neto Muestra		13.185 13.334 13.136		
	Peso Unitario Kg /M3		1402 1418 1396.3		
	PROMEDIO		1405		

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 101. Registro de control de agregados en laboratorio

CONCREPAL		REGISTRO DE CONTROL DE AGREGADOS EN LABORATORIO		Código: R10-BC Versión: 04 Página: 18 de 50 Consecutivo: 736	
Elaborado por:	E. Brenes	Revisado por:	Comité de Calidad	Aprobado por:	P. Castillo
Fecha de aprobación:	28/10/2022				
PRODUCTO	4/A	A1	PROCEDENCIA	Barranca	A4
FECHA DE MUESTREO	25-09-23	A2	FECHA DE ENSAYO		A5
SITIO DE MUESTREO	Stock	A3	Realizó:	Marvin S.	A6
OBSERVACIONES - A7					
Humedad total (ASTM C-566) APARTADO 2			% Pasando Maya 200 (ASTM C-117) APARTADO 3		
Peso Muestra + Recipiente, g	2838.3	Peso Seco Inicial	2772.7	Peso Inicial	2764.8
Peso de Recipiente, g	237.7	Menos Peso Recipiente	233.7	Peso Recipiente	237.7
Peso muestra Original W, g	2600.6	Peso Inicial, g	2535.8	Peso Final	2527.7
Peso Muestra Seca + Recip, g	2772.9			DIF MASA	
Peso de recipiente, g	237.7	% Pasando Maya 200. F % = B-C/B* 100 =			
Peso de muestra seca D, g	2535.8				
HUMEDAD TOTAL h% = 100 * (W-D)/D					
Granulometría (ASTM C 136) APARTADO 4					
Tipos de tamis a utilizar según material	TAMIZ		Masa		
	Pulgadas	Milímetros	Retenido		
Sub B	2.5"	62.5mm	-		
Sub B - B 11/2	2"	50 mm	-		
****	1.5"	37.5 mm	-		
Sub B - B 11/2 - 4ta	1"	25mm	-		
B 11/2 - 4ta - 5ta	3/4"	19mm	272.7		
Sub B - 4ta - 5ta - Fino	1/2"	12.7 mm	1740.9		
4ta - 5ta - Fino	3/8"	9.5mm	36.7		
Sub B - B 11/2 - 4ta - 5ta - Fino	4	4.75 mm	16.7		
5ta - Fino	8	2.36 mm	-		
Fino	16	1.18 mm	-		
Fino	30	600 µm (0.006mm)	-		
Sub B - B 11/2 - Fino	40	425 µm	-		
Fino	50	300 µm	-		
Fino	100	150 µm	-		
Sub B - B 11/2 - 4ta - 5ta - Fino	200	75 µm	31.41		
CHAROLA			2.3		
TOTAL			D2		
% ERROR			D3		

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 102. Registro de control de agregados en laboratorio

CONCREPAL		REGISTRO DE CONTROL DE AGREGADOS EN LABORATORIO		Código: R10-BC Versión: 04 Página: de	
Gravedad específica y absorción (ASTM C-128)		APARTADO 5		APARTADO 7	
A	Masa de la Muestra secada al Horno, g	489.3		Contenido de	
B	Picnómetro con agua hasta Calibración	660.0		Material Orgánico	
C	Picg. + Agua + Muestra, Hasta Calibración	969.0		ASTM C 40	
S	Masa de Especimen S.S.S. g	500.0		COLOR 1	
				COLOR 2	
				PATRON 3	
				COLOR 4	
				COLOR 5	
Gravedad Específica y Absorción (ASTM C-127)		APARTADO 6			
A	MASA DE MUESTRA SECADA AL HORNO, g				
B	MASA DE LA MUESTRA SSS, g				
C	MASA DE LA MUESTRA SUMERGIDA EN H ₂ O, g				
Pesos unitarios (ASTM C-29)		APARTADO 8			
PESO Kg DE RECIPIENTE		2555		VOLUMEN en m ³	
		HUMEDO SUELTO		SECO SUELTO	
Datos de masas en Kg.		1 2 3		1 2 3	
Muestra + Recipiente		5980 6050 6103		6461 6537 6611	
Peso Neto Muestra		3425 3495 3548		3906 3982 4056	
Peso Unitario Kg/M ³		1223 1223 1267		1395 1422 1448	
PROMEDIO		1237		1421	

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 103. Registro de control de agregados en laboratorio

CONCREPAL		REGISTRO DE CONTROL DE AGREGADOS EN LABORATORIO		Código: R10-BC Versión: 04 Página: 16 de 50 Consecutivo: 734	
Elaborado por: E. Brenes		Revisado por: Comité de Calidad		Aprobado por: P. Castillo	
PRODUCTO: Msc. Padregel		PROCEDENCIA: Padregel		Fecha de aprobación: 28/10/2022	
FECHA DE MUESTREO: 19-09-23		FECHA DE ENSAYO: 21-09-23			
SITIO DE MUESTREO: Stock		Realizó: A6			
OBSERVACIONES: A7					
Humedad total (ASTM C-566)		APARTADO 2		% Pasando Maya 200 (ASTM C-117)	
Peso Muestra + Recipiente, g		696.6		Peso Seco Inicial 658.4	
Peso de Recipiente, g		196.6		Menos Peso Recipiente 196.6	
Peso muestra Original W, g		500.0		Peso Inicial, g 461.8	
Peso Muestra Seca + Recip, g		658.4		DIF MASA 7	
Peso de recipiente, g		196.6		% Pasando Maya 200. F % = B-C/B*100 =	
Peso de muestra seca D, g		461.8		1.52	
HUMEDAD TOTAL h% = 100 x (W-D) / D		8.3			
Granulometría (ASTM C 136)		APARTADO 4			
Tipos de tamis a utilizar según material		TAMIZ		Masa	
		Pulgadas Milímetros		kg	
Sub B		2.5"		62.5mm	
Sub B - B 11/2		2"		50 mm	
****		1.5"		37.5 mm	
Sub B - B 11/2 - 4ta		1"		25mm	
B 11/2 - 4ta - 5ta		3/4"		19mm	
Sub B - 4ta - 5ta - Fino		1/2"		12.7 mm	
4ta - 5ta - Fino		3/8"		9.5mm	
Sub B - B 11/2 - 4ta - 5ta - Fino		4		4.75 mm	
5ta - Fino		8		2.36 mm	
Fino		16		1.18 mm	
Fino		30		600 µm (0.600mm)	
Sub B - B 11/2 - Fino		40		425 µm	
Fino		50		300 µm	
Fino		100		150 µm	
Sub B - B 11/2 - 4ta - 5ta - Fino		200		75 µm	
		CHAROLA		9.5	
		TOTAL		454.8	
		% ERROR		0	

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 104. Registro de control de agregados en laboratorio

CONCREPAL		REGISTRO DE CONTROL DE AGREGADOS EN LABORATORIO.		Código: R10-BC Versión: 04 Página: de		
Gravedad específica y absorción (ASTM C-128)			APARTADO 5		APARTADO 7	
A	Masa de la Muestra seca al Horno, g		489.3	E1	Contenido de	
B	Picnómetro con agua hasta Calibración		660.0	E2	Material Orgánico	
C	Picg.+Agua+Muestra, Hasta Calibración		969.0	E3	ASTM C 40	
S	Masa de Especimen S.S.S. g		500.0		COLOR 1	
					COLOR 2	
					PATRON 3	
					COLOR 4	
					COLOR 5	
Gravedad Específica y Absorción (ASTM C-127)			APARTADO 6			
A	MASA DE MUESTRA SECADA AL HORNO, g			F1		
B	MASA DE LA MUESTRA SSS, g			F2		
C	MASA DE LA MUESTRA SUMERGIDA EN H ₂ O, g			F3		
Pesos unitarios (ASTM C-29)			APARTADO 8			
PESO Kg DE RECIPIENTE		2555	III	VOLUMEN en m ³	0.0028	
		HUMEDO SUELTO		SECO SUELTO		
Datos de masas en Kg.		1	2	3	1	
		1	2	3	1	
Peso Muestra + Recipiente		5980	6050	6103	6461	6537
Peso Neto Muestra		3425	3495	3548	3906	3982
Peso Unitario Kg./M3		1223	1223	1267	1395	1422
PROMEDIO		1237			1421	

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 105. Registro de resultados de los ensayos de contenido de humedad

CONCREPAL		C-566					
Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:		Fecha de aprobación:	
E. BRENES		Comité de Calidad		G. Rodriguez		18/1/2023	
Norma ASTM C-566							
FECHA	HORA	AGREGADO	PROCEDENCIA	W. RECIPIENTE	M.I. HUMEDO	M.F. SECO	DIFERENCIA
					M.I. NETO(g)	M.F. NETO(g)	(M.I. - M.F.)
29-07	4:30	4T	Stock	N - A	500	485	
"	"	AR	"	"	"	440	
"	6:00	4T	"	"	"	485	
"	"	AR	"	"	"	487	
31-07	1:35	4T	"	"	"	483	
"	"	AR	"	"	"	447	
"	"	4T	"	"	"	485	
"	2:50	AR	"	"	"	481	
"	"	4T	"	"	"	490	
"	4:50	AR	"	"	"	451	
"	"	4T	"	"	"	488	
1-08	7:40	AR	"	"	"	451	
"	"	4T	"	"	"	484	
02-08	1:10	AR	"	"	"	448	
02-08	1:10	4T	"	"	"	485	
03-08	3:03	AR	"	"	"	447	
"	"	4T	"	"	"	484	
"	6:00	AR	"	"	"	443	
"	"	4T	"	"	"	489	
03-08	5:10	AR	"	"	"	449	
"	"	4T	"	"	"	483	
04-08	5:10	AR	"	"	"	453	
"	"	4T	"	"	"	484	
05-08	4:30	AR	"	"	"	484	
"	"	4T	"	"	"	484	

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 106. Registro de resultados de los ensayos de contenido de humedad

CONCREPAL		C-566				Consecutivo	
Elaborado por: E. BRENES		Revisado por: Comité de Calidad		Aprobado por: G. Rodríguez		Fecha de aprobación: 18/1/2023	
Norma ASTM C-566				P. HUMEDO	P. SECO	DIFERENCIA	% HUMEDAD
FECHA	HORA	AGREGADO	PROCEDENCIA	W. RECIPIENTE	M.I. NETO(g)	M.F. NETO(g)	(M.I. - M.F.) (M.I.-M.F.) / M.F.*100
22-08	6:00	4T	Stock	N - A	500	480	
"	"	AR	"	"	"	446	
"	"	SI	"	"	"	423	
24	4:10	4T	"	"	"		
"	"	AR	"	"	"		
24	6:32	4TA	"	"	500	483	
"	"	Arenc	"	"	500	470	
25-08	5:15	Arenc	"	"	500	447	
"	"	4TA	"	"	500	489	
"	"	4TA	"	"	500	487	
26-08	6:30	Arenc	"	"	500	470	
26-08	6:36	Arenc	"	"	500	447	
2	"	4TA	"	"	500	449	
28-08	6:00	4T	"	"	"	488	
"	"	AR	"	"	"	477	
29-08	2:00	Arenc	"	"	500	434	
"	"	4TA	"	"	500	485	
"	10:30	4TA	"	"	501	485	
"	10:56	Arenc	"	"	500	446	
"	1:00	STA	"	"	500	478	
"	1:00	Arenc	"	"	500	443	

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 107. Registro de resultados de los ensayos de contenido de humedad

CONCREPAL		REGISTRO DE HUMEDADES DE AGREGADO C-566					Consecutivo	
Elaborado por:		Revisado por:			Aprobado por:		Fecha de aprobación:	
E. BRENES		Comité de Calidad			G. Rodríguez		18/1/2023	
Norma ASTM C-566					P. HUMEDO	P. SECO	DIFERENCIA	% HUMEDAD
FECHA	HORA	AGREGADO	PROCEDENCIA	W. RECIPIENTE	M.I. NETO(g)	M.F. NETO(g)	(M.I. - M.F.)	(M.I.-M.F.) / M.F.*100
07-08	5:50	4T	Stock	N - A	500	483		
"	"	AR	"	"	"	456		
"	"	4T	"	"	"	485		
"	"	AR	"	"	"	460		
"	"	4T	"	"	"	491		
08-08	"	AR	"	"	"	451		
"	"	4TA	"	"	501	488		
10-08	9:00	4TA	"	"	500	459		
"	9:00	Ar	"	"	500	485		
16/08	"	4TA	"	"	500	438		
"	"	Are	"	"	500	486		
"	1:00	4TA	"	"	500	442		
"	1:00	AR	"	"	"			
17-08	6:06	4T	"	"	"			
"	6:00	AR	"	"	"			
"	"	"	"	"	500	406		
"	7:20m	4TA	"	"	500	446		
"	7:20m	Arenc	"	"	"			
18-08	6:30	4T	"	"	"			
"	"	AR	"	"	"			

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 108. Registro de inspección de premezclado

CONCREPAL		REGISTRO DE INSPECCION DE PREMEZCLADO		Código	Versión	Página	Consecutivo
Fecha: 25-08-23							
CLIENTE 1		DISEÑO		CEMENTO DE DISEÑO % H A			
Ruta Morales La. Kc		350					
UBICACIÓN CHORREA							
# VIAJE	1	2	3	4	5	6	7
HORA	7:45	5:24	6:16	7:41			
REVENIMIENTO	200	210	220	200			
METROS	5m	5m	4.5m	4m			
TEMPERATURA	250	33.5	310	278			
CILINDROS	1	4	1	1			
CAMIÓN	1	4	1	1			
CLIENTE 2		DISEÑO		CEMENTO DE DISEÑO % H A			
MUN. San Mateo							
UBICACIÓN CHORREA							
# VIAJE	1	2	3	4	5	6	7
HORA	6:32	8:40					
REVENIMIENTO	200	200					
METROS	6m	6m					
TEMPERATURA	328	328					
CILINDROS	1	1					
CAMIÓN	1	1					
CLIENTE 3		DISEÑO		CEMENTO DE DISEÑO % H A			
Colonia		2804					
UBICACIÓN CHORREA							
# VIAJE	1	2	3	4	5	6	7
HORA	6:40						
REVENIMIENTO	140m						
METROS	3m						
TEMPERATURA	328						
CILINDROS	1						
CAMIÓN	1						
CLIENTE 4		DISEÑO		CEMENTO DE DISEÑO % H A			
MUN. Ponte							
UBICACIÓN CHORREA							
# VIAJE	1	2	3	4	5	6	7
HORA	7:18						
REVENIMIENTO	180						
METROS	7m						
TEMPERATURA	260						
CILINDROS	1						
CAMIÓN	1						

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 109. Registro de inspección de premezclado

CONCREPAL		REGISTRO DE INSPECCION DE PREMEZCLADO		Código: R56-BC	Versión: 01	Página:	Consecutivo:
Fecha: 20-07-23							
CLIENTE 1		DISEÑO		CEMENTO DE DISEÑO % H ARENÁ % H 4TA % H			
Tania Coldea		245-234		350			
UBICACIÓN CHORREA							
# VIAJE	1	2	3	4	5	6	7
HORA	5:50	6:20					
REVENIMIENTO	200	200	200				
METROS	7m	7m	7m				
TEMPERATURA	310	320	320				
CILINDROS	1	4	1				
CAMIÓN	1	4	1				
CLIENTE 2		DISEÑO		CEMENTO DE DISEÑO % H ARENÁ % H 4TA % H			
Condeco		210-234		315			
UBICACIÓN CHORREA							
# VIAJE	1	2	3	4	5	6	7
HORA	6:40	7:00					
REVENIMIENTO	180m	180m	170m				
METROS	6m	7m	6m				
TEMPERATURA	320	320	320				
CILINDROS	1	1	1				
CAMIÓN	1	1	1				
CLIENTE 3		DISEÑO		CEMENTO DE DISEÑO % H ARENÁ % H 4TA % H			

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 110. Registro de inspección de premezclado

CONCREPAL		REGISTRO DE INSPECCIÓN DE PREMEZCLADO		Código: R56-BE Versión: 01 Página: Comunicativo:	
Fecha: 21-07-23		CLIENTE 1		DISEÑO	
6 Bole		Chevalte		350-284	
UBICACIÓN CHORREA		CEMENTO DE DISEÑO		% H ARENÁ % H 4TA % H STA B 1 1/2"	
# VIAJE	1	2	3	4	5
HORA	5:50				
REVENIMIENTO	200-				
METROS	6m				
TEMPERATURA	34.0				
CILINDROS	4				
CAMIÓN	480				
CLIENTE 2		DISEÑO		CEMENTO DE DISEÑO	
11 Bole		10.04		11.04	
UBICACIÓN CHORREA		CEMENTO DE DISEÑO		% H ARENÁ % H 4TA % H STA B 1 1/2"	
# VIAJE	1	2	3	4	5
HORA	2:47	8:30	10:04	11:04	12:15
REVENIMIENTO	110	160	190	120	110
METROS	2m ³	2m ³	2m ³	2m ³	2m ³
TEMPERATURA	28.8	30	28	28	28
CILINDROS	X	X	X	X	X
CAMIÓN	1500	2085	1020	610	800
CLIENTE 3		DISEÑO		CEMENTO DE DISEÑO	
10 Bole		10.04		11.04	
UBICACIÓN CHORREA		CEMENTO DE DISEÑO		% H ARENÁ % H 4TA % H STA B 1 1/2"	
# VIAJE	1	2	3	4	5
HORA	8:00	9:42			
REVENIMIENTO	100	180			
METROS	6m ³	6m ³			
TEMPERATURA	38	39.8			
CILINDROS	X	X			
CAMIÓN	1500	1500			
CLIENTE 4		DISEÑO		CEMENTO DE DISEÑO	
10 Bole		10.04		11.04	
UBICACIÓN CHORREA		CEMENTO DE DISEÑO		% H ARENÁ % H 4TA % H STA B 1 1/2"	
# VIAJE	1	2	3	4	5
HORA	10:30				
REVENIMIENTO	210				
METROS	6m ³				
TEMPERATURA	33				
CILINDROS	4				
CAMIÓN	400				

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 111. Registro de inspección de premezclado

CONCREPAL		REGISTRO DE INSPECCIÓN DE PREMEZCLADO		Código: R56-BE Versión: 01 Página: Comunicativo:	
Fecha: 02-08-23		CLIENTE 1		DISEÑO	
11 Bole		210-284		300	
UBICACIÓN CHORREA		CEMENTO DE DISEÑO		% H ARENÁ % H 4TA % H STA B 1 1/2"	
# VIAJE	1	2	3	4	5
HORA	12:1	1:40	2:00	2:19	2:35
REVENIMIENTO	200	200	200	200	200
METROS	7m	6m	7m	6m	7m
TEMPERATURA	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
CILINDROS	X	X	X	X	X
CAMIÓN	1500	1500	1500	1500	1500
CLIENTE 2		DISEÑO		CEMENTO DE DISEÑO	
11 Bole		210-284		300	
UBICACIÓN CHORREA		CEMENTO DE DISEÑO		% H ARENÁ % H 4TA % H STA B 1 1/2"	
# VIAJE	1	2	3	4	5
HORA	4:40	4:55	5:06	5:15	5:55
REVENIMIENTO	200	200	200	200	200
METROS	7m	8m	7m	6m	7m
TEMPERATURA	31.0	31.0	31.0	31.0	32.0
CILINDROS	X	X	X	X	X
CAMIÓN	1500	1500	1500	1500	1500
CLIENTE 3		DISEÑO		CEMENTO DE DISEÑO	
11 Bole		210-284		315	
UBICACIÓN CHORREA		CEMENTO DE DISEÑO		% H ARENÁ % H 4TA % H STA B 1 1/2"	
# VIAJE	1	2	3	4	5
HORA	5:40	7:30	7:59		
REVENIMIENTO	170	190	200		
METROS	6m	6m	6m		
TEMPERATURA	32.0	32.0	32.0		
CILINDROS	X	X	X		
CAMIÓN	1500	1500	1500		
CLIENTE 4		DISEÑO		CEMENTO DE DISEÑO	
11 Bole		210-284		300	
UBICACIÓN CHORREA		CEMENTO DE DISEÑO		% H ARENÁ % H 4TA % H STA B 1 1/2"	
# VIAJE	1	2	3	4	5
HORA	6:25	7:45	9:00	10:18	11:25
REVENIMIENTO	200	200	200	200	200
METROS	7m	7m	8m	6m	7m
TEMPERATURA	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
CILINDROS	X	X	X	X	X
CAMIÓN	1500	1500	1500	1500	1500

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 112. Registro de inspección de premezclado

CONCREPAL		REGISTRO DE INSPECCION DE PREMEZCLADO		Código: RS6-BC Versión: 01 Página: Consecutivo:	
Fecha: 06-07-23		CLIENTE 1		DISEÑO	
Ubicación Chorrea: Reiver		DISEÑO: 210-284		CEMENTO DE DISEÑO: 35	
# VIAJE		1		2	
HORA	8:00	2		3	
REVENIMIENTO	750	4		5	
METROS	6m ³	6		7	
TEMPERATURA	33°	8		9	
CILINDROS	4	10		11	
CAMIÓN	Kipier				
CLIENTE 2		DISEÑO		CEMENTO DE DISEÑO	
Ubicación Chorrea: Chacabuta		DISEÑO: 350		CEMENTO DE DISEÑO: 450	
# VIAJE		1		2	
HORA	8:26	3		4	
REVENIMIENTO	270	5		6	
METROS	8m ³	7		8	
TEMPERATURA	32°	9		10	
CILINDROS	4	11		12	
CAMIÓN	José Isaac José Lidio Eusebio				
CLIENTE 3		DISEÑO		CEMENTO DE DISEÑO	
Ubicación Chorrea: Cencex		DISEÑO: 2450		CEMENTO DE DISEÑO: 280	
# VIAJE		1		2	
HORA	10:10	3		4	
REVENIMIENTO	150	5		6	
METROS	3m ³	7		8	
TEMPERATURA	35°	9		10	
CILINDROS	4	11		12	
CAMIÓN	Jose Manuel Sotelo				
CLIENTE 4		DISEÑO		CEMENTO DE DISEÑO	
Ubicación Chorrea: Med. W.K.C.		DISEÑO: 210-285		CEMENTO DE DISEÑO: 350	
# VIAJE		1		2	
HORA	16:20	3		4	
REVENIMIENTO	200	5		6	
METROS	7m ³	7		8	
TEMPERATURA	33°C	9		10	
CILINDROS	4	11		12	
CAMIÓN	Isaac José				

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 113. Certificado del supervisor del departamento de control de calidad



Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 20219

Figura 114. Certificado de los técnicos del departamento de control de calidad



Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2022.

Figura 115. Norma INTE C43 impresa



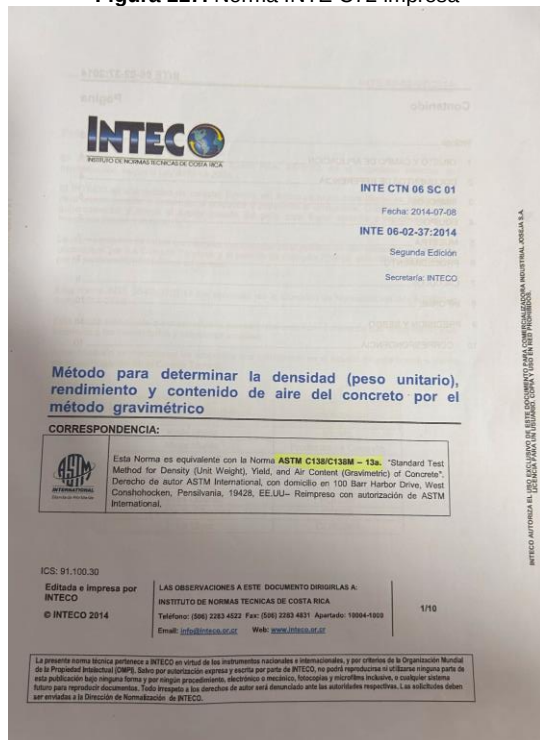
Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 116. Norma INTE C41 impresa



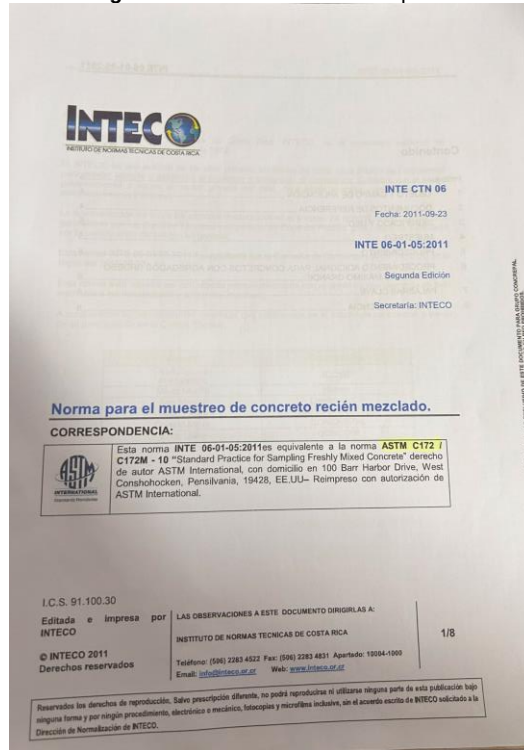
Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 117. Norma INTE C72 impresa



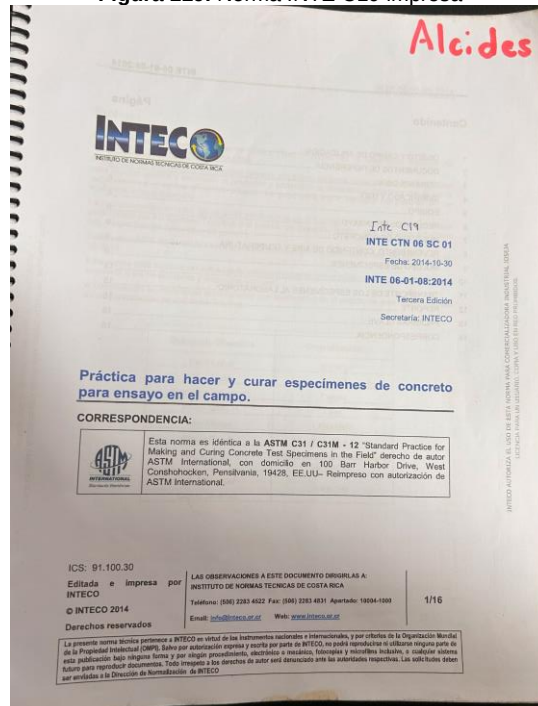
Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 118. Norma INTE C17 impresa



Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 119. Norma INTE C19 impresa



Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 120. Registro de los resultados de los ensayos de peso unitario del concreto

PESO UNITARIO 1				VOLUMEN DEL RECIPIENTE			0.009985
Nombre del Cliente:	CEMENTO	Peso Recipiente	Peso Neto	Peso U. Diseño:	# VIAJE	# BOLETA	# metros 3 cargados por el camión
Condico	315	5525	23266	2330	1	12173	6 m ³
	Cemento	agua	A Rio	P 4TA	P 5TA		
1	650	400	1873	1857			
2	635	300	1850	1847			
3	632	50	1857	1828			
4		70	383				
5							
TOTAL	1917	750	5943	5532			
TOTAL SUMA		14212					

RENDIMIENTO en m3 del viaje
6.09

Fuente: Departamento de control de calidad de Concrepal, 2023.

Figura 121. Registro de los resultados de los ensayos de peso unitario del concreto

PESO UNITARIO 1				VOLUMEN DEL RECIPIENTE			0.009985
Nombre del Cliente:	CEMENTO	Peso Recipiente	Peso Neto	Peso U. Diseño:	# VIAJE	# BOLETA	# metros 3 cargados por el camión
Severy Desrolli	340	5525	23082	2311	1	18440	5.5 m ³
	Cemento	agua	A Rio	P 4TA	P 5TA		
1	629	400	1770	1710			
2	630	200	1780	1780			
3	633	60	1810	1780			
4							
5							
TOTAL	1892	660	5360	5270			
TOTAL SUMA		13182					

RENDIMIENTO en m3 del viaje
5.7 m³

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 122. Registro de los resultados de los ensayos a los aditivos

FECHA	MARTES 22 04 23								
LUGAR	LAB CONCREPAL								
Prueba # 1-1 PRUEBA PARAMETRO SAHE 175 R									
CÁLCULO DE DISEÑO		CÁLCULO DE HUMEDADES							
Agregados	Diseño Original	Ajuste por humedades	Mezcla de prueba	VOLUMEN EN M3	Piedra 4TA	ARENA DE RIO			
Cemento	290	290	8.12	0.095	PW 500.1 g	PW	2.0 g	PW 500.1 g	PW 2.0 g
Agua	215	118	3.3	0.215	PS 485.3 g	PS	2.0 g	PS 441.7 g	PS 2.0 g
Piedra 4 Ta	915	943	26.4	0.345	%W 3.0%	%W	0.0%	%W 13.2%	%W 0.0%
PIEDRA 5 Ta	0	0	0.0	0.000					
ARENA DE RIO	880	996	27.9	0.353					
BASE DE 1 1/2"	0	0	0.0	0.010					
AIRE 1.3%	30	30	30.0	0.010					
175 R	8	2320		65.0					
		0		0.0					
		0		0.0					
FIBRA	0.00								
Suma Agreg.	2330	2377							
AGUA ABSORBIDA	47								
	2377								
VOLÚMEN RECIPIENTE		0.00700							
PESO RECIPIENTE		3.860							
PESO RES+CONCRETO		16.520							
PESO NETO CONCRETO		2.360							
PESO UNITARIO DISEÑO									
RENDIMIENTO									
Datos de Prueba					Observaciones				
H. Inicio					21 Días				
Rev SIN ADITIVO					85mm				
Rev CON ADITIVO					210mm				
TEMPERATURA									
Rev despues 10									
Rev desp 20					135mm				
Rev desp 30									
Agua de Más									
Agua Sobrante									
Cilindros					4				
H. Moldeo					14 1/4				
% aire									

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 123. Registro de los resultados de los ensayos a los aditivos

FECHA		MARTES 22 04 23			
LUGAR		LAB CONCREPAL			
Prueba # 2-1 PRUEBA FLUXIDAL					
CÁLCULO DE DISEÑO				CÁLCULO DE HUMEDADES	
Agregados	Diseño Original	Ajuste por humedades	Mezcla de prueba	VOLUMEN EN M3	
Cemento	290	290	8.12	0.095	
Agua	215	118	3.3	0.215	
Piedra 4 Ta	915	943	26.4	0.345	
PIEDRA 5 Ta	0	0	0.0	0.000	
ARENA DE RIO	880	996	27.9	0.353	
BASE DE 1 1/2"	0	0	0.0	0.000	
AIRE 1.3%	30	30	30.0	0.010	
175 R	8	2320	65.0	0.849	
	0		0.0		
	0		0.0		
FIBRA	0.00				
Suma Agreg.	2330	2377			
AGUA ABSORBIDA	47				
	2377				
Datos de Prueba					
H. Inicio					
Rev SIN ADITIVO					80mm
Rev CON ADITIVO					220mm
TEMPERATURA 30.5°C					22.5mm
Rev despues 10					
Rev desp 20					185mm
Rev desp 30					175mm
Agua de Más					N/A
Agua Sobrante					
Cilindros					
H. Moldeo					
% aire					1.3%
Observaciones					
Falla 1 día Carga kg/cm2 Falla 3 días Carga kg/cm2 Falla a 7 días Carga kg/cm2 Falla a 28 Días Carga kg/cm2					21.961 280 23.998 298 22.989 293
Se rediseña 26 horas dia = Fluxidal 375 RS = 170 mm					

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 124. Registro de los resultados de los ensayos a los aditivos

FECHA		MARTES 29 04 23											
LUGAR		LAB CONCREPAL											
Prueba # 3-1 PRUEBA PARAMETRO SAHE 175 R													
CÁLCULO DE DISEÑO						CÁLCULO DE HUMEDADES							
Agregados		Diseño Original	Ajuste por humedades	Mezcla de prueba	VOLUMEN EN M3	Piedra 4TA				ARENA DE RIO			
Cemento		290	290	8.12	0.095	PW	500.0 g	PW	2.0 g	PW	500.0 g	PW	2.0 g
Agua		215	128	3.6	0.215	PS	490.4 g	PS	2.0 g	PS	441.7 g	PS	2.0 g
Piedra 4 Ta		915	933	26.1	0.345	%W	2.0%	%W	0.0%	%W	13.2%	%W	0.0%
PIEDRA 5 Ta		0	0	0.0	0.000								
ARENA DE RIO		880	996	27.9	0.353								
BASE DE 1 1/2"		0	0	0.0	0.000	Falla 1 día		Falla 3 días		falla a 7 Dias 14		Falla a 28 Dias	
AIRE 1.3%		30	30	30.0	0.010	Carga	kg/cm2	Carga	kg/cm2	Carga	kg/cm2	Carga	kg/cm2
175 R	8	2320		65.0	0.008					13543	172	19464	248
		0		0.0		Datos de Prueba		Observaciones					
		0		0.0		H. Inicio	11:00	20629 263					
FIBRA		0.00				Rev SIN ADITIVO	—	19247 245					
Suma Agreg.		2330	2377			Rev CON ADITIVO	215	0.9987 14302					
AGUA ABSORBIDA		47				TEMPERATURA	—	30.904614					
		2377				Rev despues 10	205						
						Rev desp 20	190						
VOLÚMEN RECIPIENTE		0.00708				Rev desp 30	—						
PESO RECIPIENTE		3.86				Agua de Más	—						
PESO RES+CONCRETO						Agua Sobrante	0.76						
PESO NETO CONCRETO		16520.000				Cilindros	4						
PESO UNITARIO DISEÑO		2333				H. Moldeo	11:51						
RENDIMIENTO		1.00				% aire	—						

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 125. Registro de los resultados de los ensayos a los aditivos

FECHA	MARTES 29 04 23														
LUGAR	LAB CONCREPAL														
Prueba # 4-1 PRUEBA FLUXIDAL															
CÁLCULO DE DISEÑO					CÁLCULO DE HUMEDADES										
Agregados	Diseño Original	Ajuste por humedades	Mezcla de prueba	VOLUMEN EN M3	Piedra 4TA						ARENA DE RIO				
Cemento	290	290	8.12	0.095	PW	500.0 g	PW	2.0 g	PW	500.0 g	PW	2.0 g			
Agua	215	128	3.6	0.215	PS	490.4 g	PS	2.0 g	PS	441.7 g	PS	2.0 g			
Piedra 4 Ta	915	933	26.1	0.345	%W	2.0%	%W	0.0%	%W	13.2%	%W	0.0%			
PIEDRA 5 Ta	0	0	0.0	0.000											
ARENA DE RIO	880	996	27.9	0.353											
BASE DE 1 1/2"	0	0	0.0	0.000	Falla 1 día		Falla 3 días		falla a 9 Días 14		Falla a 28 Días				
AIRE 1.3%	30	30	30.0	0.010	Carga	kg/cm2	Carga	kg/cm2	Carga	kg/cm2	Carga	kg/cm2			
175 R	8	2320	65.0	1.015					15028 191		18615 237				
		0	0.0	Datos de Prueba					Observaciones						
		0	0.0	H. Inicio	1:41										
FIBRA	0.00			Rev SIN ADITIVO	—										
Suma Agreg.	2330	2377		Rev CON ADITIVO	215										
AGUA ABSORBIDA	47			TEMPERATURA	—										
	2377			Rev despues 10	180										
				Rev desp 20	—										
				Rev desp 30	—										
VOLUMEN RECIPIENTE				Agua de Más	—										
PESO RECIPIENTE				Agua Sobrante	1.62 1.14										
PESO RES+CONCRETO				Cilindros	4										
PESO NETO CONCRETO				H. Moldeo	2:25										
PESO UNITARIO DISEÑO				% aire	—										
RENDIMIENTO															

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 126. Dosificación ajustada del diseño de mezcla 210-284-B

Volumen	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Cemento	158	315	473	630	788	945	1103	1260
Agua SIN Hielo	69	138	207	276	345	414	483	552
Agua Hielo								
Piedra 5 Ta	480	960	1440	1920	2400	2880	3360	3840
Piedra ½" 5 Ta								
Arena Rio	483	966	1449	1933	2416	2899	3382	3865
Ergo Mix 175 R	1260	2520	3780	5040	6300	7560	8820	10080
Sahetard								
PG 50								
Otro								

Volumen	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8
Cemento	1418	1575	1733	1890	2048	2205	2363	2520
Agua SIN Hielo	621	690	759	828	897	966	1035	1104
Agua Hielo								
Piedra ¾" 4 Ta	4320	4800	5280	5760	6240	6720	7200	7680
Piedra ½" 5 Ta	0	0	0	0	0	0	0	0
Arena Rio	4348	4831	5315	5798	6281	6764	7247	7730
Ergo Mix 175 R	11340	12600	13860	15120	16380	17640	18900	20160
Sahetard								
PG 50								
Otro								

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 127. Dosificación ajustado del diseño de mezcla TB-50-65-75/284

Volumen	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Cemento	80	160	240	320	400	480	560	640
Agua SIN Hielo	67	134	200	267	334	401	468	534
Agua Hielo								
Piedra 5 Ta	426	852	1278	1704	2130	2556	2983	3409
Piedra ½" 5 Ta								
Arena Rio	596	1191	1787	2382	2978	3573	4169	4764
Ergo Mix 175 R	640	1280	1920	2560	3200	3840	4480	5120
Sahetard								
PG 50								
Otro								

Volumen	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8
Cemento	720	800	880	960	1040	1120	1200	1280
Agua SIN Hielo	601	668	735	802	868	935	1002	1069
Agua Hielo								
Piedra ¾" 4 Ta	3835	4261	4687	5113	5539	5965	6391	6817
Piedra ½" 5 Ta	0	0	0	0	0	0	0	0
Arena Rio	5360	5955	6551	7146	7742	8337	8933	9528
Ergo Mix 175 R	5760	6400	7040	7680	8320	8960	9600	10240
Sahetard								
PG 50								
Otro								

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 128. Dosificación de diseño de mezcla 280-284-A

Volumen	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Cemento	175	350	525	700	875	1050	1225	1400
Agua SIN Hielo	86	172	258	345	431	517	603	689
Agua Hielo								
Piedra 5 Ta	467	934	1401	1869	2336	2803	3270	3737
Piedra ½" 5 Ta								
Arena Rio	474	948	1422	1895	2369	2843	3317	3791
Ergo Mix 175 R	1400	2800	4200	5600	7000	8400	9800	11200
Sahetard								
PG 50								
Otro								

Volumen	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8
Cemento	1575	1750	1925	2100	2275	2450	2625	2800
Agua SIN Hielo	775	862	948	1034	1120	1206	1292	1378
Agua Hielo								
Piedra ¾" 4 Ta	4204	4671	5139	5606	6073	6540	7007	7474
Piedra ½" 5 Ta	0	0	0	0	0	0	0	0
Arena Rio	4265	4739	5212	5686	6160	6634	7108	7582
Ergo Mix 175 R	12600	14000	15400	16800	18200	19600	21000	22400
Sahetard								
PG 50								

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 129. Resultados del ensayo de gravedad específica y absorción.

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN INTE C68 (ASTM C -128)			
A	MASA DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO, G		481.9
B	PICNÓMETRO CON AGUA HASTA CALIBRACIÓN, G		660
C	PICN.+AGUA+MUESTRA, HASTA CALIBRACIÓN. G		968.3
S	MASA DEL ESPÉCIMEN S.S.S		500
	GBS	$A/(B+S-C)$	2.514
	GBSS	$S/(B+S-C)$	2.608
	GB	$A/(B+A-C)$	2.776
	% ABS.	$(S-A)/A$	3.76%

Fuente: Registro de resultados del agregado fino del laboratorio de Departamento de Control de Calidad, 2023

Figura 130. Resultados del ensayo de la masa que pasa el tamiz de 0.075 mm..

PESO SECO INICIAL	657	PESO FINAL	654
MENOS PESO DE RECIP.	196.6	MENOS PESO DE RECIP.	196.6
MASA INICIAL B	460.4	MASA FINAL C	457.4
PORCENTAJE PASANDO MALLA 200 INTE C49 (ASTM C-117)			3
$F\% = B-C/B * 100 =$			0.65%

Fuente: Registro de resultados del agregado fino del laboratorio de Departamento de Control de Calidad, 2023

Figura 131. Resultados del ensayo de granulometría al agregado fino.

Análisis granulométrico en agregado fino y grueso INTE C46				
	MASA	RETENIDO	RETENIDO	TOTAL
	RETENIDA	INDIVIDUAL	ACUMULADO	PASANDO
MALLA	GRAMOS	%	%	%
1/2"				100%
3/8"				100.0%
No 4	10.8	2.3%	2.3%	98%
No 8	79.3	17.2%	19.6%	80%
No 16	97.5	21.2%	40.7%	59%
No 30	118.5	25.7%	66.5%	34%
No 50	98.1	21.3%	87.8%	12%
No 100	40.9	8.9%	96.7%	3%
No 200	9.2	2.0%	98.7%	1.3%
CHAROLA	3.1	1.3%	100.0%	
TOTAL	457.4			
% ERROR	0.0%	MODULO DE FINURA		3.14

Fuente: Registro de resultados del agregado fino del laboratorio de Departamento de Control de Calidad, 2023

Figura 132. Certificación de calibración del instrumento termómetro



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
C PA CTM-002-0322

Información sobre el cliente

Nombre: Concrepal

Dirección: Barranca, Puntarenas, Costa Rica

Información sobre el equipo

Código: TM-002

Descripción: Termómetro Digital

Fabricante: HANNA instruments

Modelo: Checktemp 1

Serie: 1B6E46

Unidad de medida: °C

Alcance de calibración: 150,0

Valor (división/resolución): 0,1

Fecha de emisión del certificado: 17 de marzo de 2022

Información sobre los patrones

Descripción	Código	Certificado	Trazabilidad	Fecha vencimiento
Pozo seco	A3B633	LCM 03300 221	Trazable al SI a través la LACOMET por medio del código 225	abr-23
Higrotermómetro	192066575	MC-CC-2 1-03-045AD	Trazable al SI a través de Met. Eng. Services por medio de los códigos MCP-0389 y U3710040/U332001	mar-23

Resultados de las mediciones

INSPECCIÓN VISUAL: SATISFACTORIO

Sensor 1

Medida del patrón	Medida del equipo	Corrección	Incertidumbre expandida (k=2)
34,9	35,1	-0,2	0,3
69,8	70,2	-0,4	0,7
99,8	100,1	-0,3	1,1
119,7	120,2	-0,5	1,1
149,6	150,0	-0,4	1,1

Condiciones ambientales

Temperatura inicial: 22,9 °C

Temperatura final: 21,9 °C

Humedad relativa: 55 %

Los resultados son trazables al método MME-004: Calibración de termómetros por comparación

Los resultados de la calibración son válidos para las condiciones bajo las cuales se realizaron las pruebas.

La incertidumbre expandida se expresa con un factor de cobertura de k=2, para un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.

Observaciones: NA.



Realizado por: Téc. Guillermo Gómez Cortés



Revisado por: Téc. Marco Quirós Gamboa

Página 1 de 1

Reservando sus derechos.
Tel: (506) 2288 3140 / (506) 289 0205 Fax: (506) 2288 3156
 www.dmi-metrologia.com Apdo 1927-1250 Escazú, San José, Costa Rica

FME-019-08

Fuente: Departamento de Control de Calidad, 2022

Figura 133. Certificación de calibración de la máquina de fuerza



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CPACFPR-001-0922



Información sobre el cliente

Nombre: Concrepal

Dirección: Barranca, Puntarenas, Costa Rica

Información sobre el equipo

Código: FPR-001

Descripción: Máquina de fuerza

Fabricante: Controls

Modelo: 50-Q60B02

Serie: 20002121

Unidad de medida: Tonf

Alcance de la calibración: 108,789

Valor (división/resolución): 0,001

Sitio de la calibración: Instalaciones del Cliente

Fecha de calibración: 13-sep-22

Frecuencia de calibración: 12 meses

Próxima fecha de calibración: sep-23

Fecha de emisión del certificado: 14-sep-22

Información sobre los patrones

Descripción	Código	Certificado	Trazabilidad	Fecha de vencimiento
Patrón de fuerza	A224252	21-0508	Trazable al SI a través de SAS por medio de los códigos PMT-019 y PMT-020	oct-23
Higrotermómetro	192066575	MC-CC-21-03-046AD	Trazable al SI a través de Met. Eng. Services por medio de los códigos MCP-0389 y U3710040/U332001	mar-23

Resultados de las mediciones

Prueba de exactitud en ascenso (kN)

Carga aplicada	Medida del equipo	Corrección	Incertidumbre expandida (k=2)
48,53	48,33	0,41 %	2,74 %
96,31	96,68	-0,38 %	1,04 %
192,64	193,69	-0,55 %	0,79 %
289,34	290,69	-0,47 %	0,79 %
482,79	485,34	-0,53 %	0,56 %
579,86	583,10	-0,56 %	0,51 %
677,07	681,72	-0,69 %	0,51 %
871,82	878,82	-0,80 %	0,19 %
969,31	977,46	-0,84 %	0,23 %
1066,86	1076,34	-0,89 %	0,23 %

Fuente: Departamento de Control de Calidad, 2022

Figura 134. Certificación de calibración de máquina de fuerza



Fuente: Departamento de Control de Calidad, 2022

Figura 135. Registro de los resultados de los ensayos de peso unitario del concreto

PESO UNITARIO 1				VOLUMEN DEL RECIPIENTE			0.009985
Nombre del Cliente:	CEMENTO	Peso Recipiente	Peso Neto	Peso U. Diseño:	# VIAJE	# BOLETA	# metros 3 cargados por el camión
Concreto	350	5525	23214	2324	1	12062	6m ³
	Cemento	agua	A Rio	P 4TA	P STA		
1	710	300	1880	1835			
2	706	300	1887	1859			
3	707	63	1860	1870			
4							
5							
TOTAL	2123	663	5627	5564			
TOTAL SUMA		13977					

RENDIMIENTO en m3 del viaje
 6.01

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 136. Registro de los resultados de los ensayos de peso unitario del concreto

PESO UNITARIO 1				VOLUMEN DEL RECIPIENTE			0.009985
Nombre del Cliente:	CEMENTO	Peso Recipiente	Peso Neto	Peso U. Diseño:	# VIAJE	# BOLETA	# metros 3 cargados por el camión
H. San Mateo	315	5525	23169	2320	1	11879	6m ³
	Cemento	agua	A Rio	P 4TA	P STA		
1	634	350	1836	1833			
2	632	400	1820	1840			
3	639	45	1826	1835			
4			350	240			
5							
TOTAL	1965	795	5820	5748			
TOTAL SUMA		14268					

RENDIMIENTO en m3 del viaje
 6.15

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 137. Registro de los resultados de los ensayos de peso unitario del concreto

PESO UNITARIO 1				VOLUMEN DEL RECIPIENTE			0.009985
Nombre del Cliente:	CEMENTO	Peso Recipiente	Peso Neto	Peso U. Diseño:	# VIAJE	# BOLETA	# metros 3 cargados por el camión
Concreto	350	5525	23054	2308	2	11785	7.5
	Cemento	agua	A Rio	P 4TA	P STA		
1	660	400	1840	1766			
2	662	350	1815	1800			
3	662	70	1815	1790			
4	660		1800	1860			
5							
TOTAL	2644	820	7270	7210			
TOTAL SUMA		17944					

RENDIMIENTO en m3 del viaje
 7.77m³

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Concrepal, 2023.

Figura 138. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para un diseño 180-280

Fecha de moldeo	Carga aplicada (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Carga aplicada (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)	Desv est	Coeficiente de variación	Diferencia máxima
7/8/2023	15242	194	16532	211	202.5	8.5	4.20%	8.4%
8/8/2023	17884	228	18223	232	230	2	0.87%	1.7%
9/8/2023	18417	234	19247	245	239.5	5.5	2.30%	4.6%
10/8/2023	14998	191	15241	194	192.5	1.5	0.78%	1.6%
16/8/2023	17693	225	16336	208	216.5	8.5	3.93%	7.9%
17/8/2023	16254	207	14944	191	199	8	4.02%	8.0%
25/8/2023	15656	199	17548	222	210.5	11.5	5.46%	10.9%
29/8/2023	10666	136	11028	140	138	2	1.45%	2.9%
31/8/2023	19110	243	16870	215	229	14	6.11%	12.2%

Fuente: Registro de los resultados de los ensayos resistencia a la compresión, 2023.

Figura 139. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para un diseño 210-300

Fecha de moldeo	Carga aplicada (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Carga aplicada (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)	Desv est	Coeficiente de variación	Diferencia máxima
31/7/2023	19440	248	17857	227	237.5	10.50	4.4%	8.8%
31/7/2023	22455	286	23625	301	293.5	7.50	2.6%	5.1%
2/8/2023	19006	242	17700	225	233.5	8.50	3.6%	7.3%
2/8/2023	20431	260	20708	264	262	2.00	0.8%	1.5%
10/8/2023	16493	210	17558	224	217	7.00	3.2%	6.5%
21/8/2023	18545	236	17335	221	228.5	7.50	3.3%	6.6%

Fuente: Registro de los resultados de los ensayos resistencia a la compresión, 2023.

Figura 140. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para un diseño 210-315

Fecha de moldeo	Carga aplicada (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Carga aplicada (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)	Desv est	Coeficiente de variación	Diferencia máxima
28/7/2023	21542	274	22856	291	282.5	8.50	3.0%	6.0%
7/8/2023	17858	227	16584	211	219	8.00	3.7%	7.3%
11/8/2023	16545	211	18552	236	223.5	12.50	5.6%	11.2%
30/8/2023	24830	316	25730	327	321.5	5.50	1.7%	3.4%
4/9/2023	19230	245	20930	266	255.5	10.50	4.1%	8.2%
1/9/2023	17680	225	17560	224	224.5	0.50	0.2%	0.4%
6/9/2023	16320	208	15410	196	202	6.00	3.0%	5.9%

Fuente: Registro de los resultados de los ensayos resistencia a la compresión, 2023.

Figura 141. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para un diseño 280-350

Fecha de moldeado	Carga aplicada (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Carga aplicada (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)	Desv est	Coefficiente de variación	Diferencia máxima
27/7/2023	28664	365	28807	367	366	1.00	0.3%	0.5%
28/7/2023	26602	339	28912	368	353.5	14.50	4.1%	8.2%
3/8/2023	19516	248	20701	264	256	8.00	3.1%	6.3%
8/8/2023	20114	256	21363	272	264	8.00	3.0%	6.1%
10/8/2023	22897	292	23459	299	295.5	3.50	1.2%	2.4%
11/8/2023	22656	288	24012	306	297	9.00	3.0%	6.1%
15/8/2023	26333	333	27525	350	341.5	8.50	2.5%	5.0%
18/8/2023	25441	324	24385	310	317	7.00	2.2%	4.4%
25/8/2023	24336	310	23787	303	306.5	3.50	1.1%	2.3%

Fuente: Registro de los resultados de los ensayos resistencia a la compresión, 2023.

Figura 142. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para un diseño 315-405

Fecha de moldeado	Carga aplicada (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Carga aplicada (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)	Desv est	Coefficiente de variación	Diferencia máxima
29/7/2023	36163	460	35676	454	457	3.00	0.7%	1.3%
8/8/2023	25454	324	26336	334	329	5.00	1.5%	3.0%
16/8/2023	26444	337	26578	338	337.5	0.50	0.1%	0.3%
19/8/2023	25334	323	26599	339	331	8.00	2.4%	4.8%
5/9/2023	26354	336	24998	318	327	9.00	2.8%	5.5%

Fuente: Registro de los resultados de los ensayos resistencia a la compresión, 2023.