



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**PROPUESTA DE CAMBIO EN LA METODOLOGÍA DE ENSAYO DE
PROBETAS DE PAVIMENTO MEDIANTE UN PLAN DE MUESTREO POR
VARIABLES
(CASO: INDUSTRIA VENEZOLANA DE CEMENTO S.A.)**

Autores:

Malave L. Daniel.

C.I. V-24.289.644

Somaroo O. Samuel R.

C.I. V-22.519.897

Bárbula, Diciembre 2016



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**PROPUESTA DE CAMBIO EN LA METODOLOGÍA DE ENSAYO DE
PROBETAS DE PAVIMENTO MEDIANTE UN PLAN DE MUESTREO POR
VARIABLES**

(CASO: INDUSTRIA VENEZOLANA DE CEMENTO S.A.)

Trabajo Especial de Grado presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo para
optar al título de Ingeniero Industrial

Línea de investigación: Investigación de Operaciones.

Tutor Académico:

Lcdo. José Parra

Autores:

Malave L. Daniel.

C.I. V-24.289.644

Somaroo O. Samuel R.

C.I. V-22.519.897

Bárbula, Diciembre 2016

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo le doy gracias a dios por darme todo lo necesario para poder ser mejor cada día y no abandonarme ni un solo día

Le agradezco a mis padres por enseñarme a siempre luchar por lo que quieres y nunca darte por vencido, que la cuando la cosa se pone dura es cuando mas pichón tienes que ponerle. A mi hermana Alejandra que cuando estuve a punto de abandonar fue la que me convenció de seguir luchando y que sin su ayuda este trabajo no hubiera sido el mismo, a mi hermana Gabriela por ser una jefa comprensiva y entender que todas las veces que faltaba era para convertirme en mejor persona, a Alphita por acompañarme en varias noches de trasnochos haciendo trabajos y darme alegrías en uno de mis momentos mas oscuros; y a mi madrina bella, Clara, por ser mi segunda madre, brindándome su amor y cariño todos los días.

A todos los profesores de la carrera, que a pesar de tantos problemas siguen allí poniendo su granito de arena para construir un país mejor. Pero en especial a todos esos profesores que definitivamente son un ejemplo a seguir como profesionales.

A todos los compañeros que conseguí a través de la carrera pues siempre estábamos uno para el otro para cualquier problema, en especial quiero agradecer al grupo QUE NERVIOS por aceptarme como un miembro mas y darme todo su cariño y al grupo DAM por convertirse en mis hermanas, ayudarme en mis momentos mas fuertes y hacer mi vida mas placentera.

A la empresa INVECEM SA que nos abrió sus puertas ya que nos proporcionó todo lo necesario para la realización de este trabajo

Finalmente, agradezco a mi compañero de tesis, Samuel, por compartir su amistad desde primer grado y por haberme acompañado en esta experiencia, por ser un compañero con el cual no tuve ningún problema. Y espero que esta amistad no termine aquí con esta tesis si no que dure toda la vida.

Daniel Malave

Agradecimientos

A Dios, por darme salud y espíritu de sabiduría para estudiar esta carrera tan exigente pero tan apasionante. Sin Su ayuda, hubiese sido imposible. Gracias mi Señor, por tantas bendiciones.

A mis padres, Samuel y Marledix. Por ser mi sustento y mi apoyo de cada día; quienes bajo cualquier circunstancia siempre estuvieron ahí para aconsejarme, levantarme en mis caídas, forjar mi estructura de valores y además, procurar en todo momento que más que un buen profesional, me convierta en un buen ser humano.

Samuel Somaroo

DEDICATORIAS

Este trabajo va dedicado a Dios, por siempre iluminar y guiar mis pasos, por darme fuerza espiritual que sin duda me ayudó a superar todos los obstáculos.

A mi familia, porque creo que este triunfo es mas de ustedes que mío, ya que sin su ayuda definitivamente nada de esto hubiera sido posible

A mi país, que espero que algún día, mas pronto que tarde, todos aprendamos a quererlo como se debe, y logre convertirse en lo que ya es, el mejor país del mundo.

Finalmente, este triunfo va dedicado a Andre. Siempre fuiste mi compañera de trabajos, mi cosa que hacer cuando no había nada que hacer, mi inspiración a ser mejor cada día solo por ti. Y a pesar de la distancia siempre estuviste presente en cada logro y en especial en este.

Daniel Malave

De la misma manera, dedico este trabajo a Dios, pues toda la gloria y la honra es para Él. Mis logros son tuyos mi Señor, para que te glorifiques y me permitas vivir siendo testigo de tu Grandeza.

A Katterinne Pérez. Gracias por tanto amor y por el apoyo incondicional que siempre me has dado. Eres la mejor persona que conozco. Todo este esfuerzo y dedicación por este trabajo te lo dedico a ti.

A mi país Venezuela. Te prometo que saldremos adelante y más temprano que tarde volveremos a mencionar tu nombre como motivo de orgullo y grandeza. Te amo, siempre serás mi hogar.

Samuel Somaroo



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**PROPUESTA DE CAMBIO EN LA METODOLOGÍA DE ENSAYO DE
PROBETAS DE PAVIMENTO MEDIANTE UN PLA DE MUESTREO POR
VARIABLES**

(CASO: INDUSTRIA VENEZOLANA DE CEMENTO S.A.)

Tutor Académico
Lcdo. José Parra

Autores: Malave L. Daniel.
Somaroo O. Samuel R.

RESUMEN

Este trabajo tiene la finalidad de solventar la problemática en el área de control de calidad de pavimento de la empresa INVECEM S.A., pues la metodología empleada actualmente no cumple con la norma técnica para el control en la manipulación, levantamiento, y traslado manual de carga. Para ello se propuso utilizar el método de ensayo de tracción indirecta, el cual permite cambiar las probetas en forma de paralelepípedo de peso promedio 33,05 kg por probetas cilíndricas de peso promedio 12,51 kg. Para dicha propuesta se realizó un estudio estadístico, específicamente un análisis de regresión, el cual estableció una correlación lineal positiva entre los datos expresada por la ecuación $Y = 0,93208 X + 25,97609$. Esta ecuación permitió establecer un criterio de relación entre los valores de resistencia. Esto permitió el diseño de un plan de muestreo por variables el cual permitirá a la empresa ensayar lotes de producción de pavimento al momento de implementar la nueva propuesta de metodología. Este cambio de metodología implica una inversión de 296.944 Bs. Pero con la implementación de la misma, la empresa pasará de atender el 10% de la demanda al 100 % de la demanda, esto implica un incremento en los beneficios mensuales de 32.242.110,49 Bs. Entonces, la empresa podrá recuperar la inversión total en el primer mes de producción.

Palabras clave: Plan de muestreo por variables, tracción indirecta, pavimento, probetas, correlación lineal, análisis de regresión.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
EL PROBLEMA	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Formulación del problema.....	6
1.3. Objetivo de la investigación.....	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4. Justificación de la investigación	7
1.5. Alcance.....	9
1.6. Limitaciones	9
CAPÍTULO II.....	10
MARCO TEÓRICO-REFERENCIAL.....	10
2.1. Antecedentes de la investigación	10
2.2. Bases Teóricas.....	12
2.2.1. Plan de muestreo por variables	12
2.2.2. Ensayo de tracción indirecta - Método brasileño.....	13
2.2.3. Análisis de movimientos. Ergonomía.....	15
2.2.4. Diagramas de dispersión	16
2.2.5. Regresión Lineal	19
2.2.6. Relación entre la resistencia a tracción indirecta y flexión	20
2.3. Definición de Términos Básicos	21
CAPÍTULO III.....	22
MARCO METODOLÓGICO.....	22
3.1. Nivel y diseño de la investigación	22

3.2. Población y muestra	23
3.3. Fuentes y técnicas para la recolección de información	24
3.4. Técnicas de procesamiento y análisis de la información.....	24
3.5. Fases de la investigación	24
CAPÍTULO IV	26
MODELO DE ENSAYO	26
4.1. Elaboración de probetas	26
4.1.1. Componentes	26
4.1.2. Descripción del proceso de obtención de la mezcla	28
4.1.3. Descripción del proceso de elaboración de probetas en forma de paralelepípedo.....	29
4.1.4. Descripción del proceso de elaboración de probetas cilíndricas	30
4.1.5. Clasificación de probetas.....	31
4.2. Diseño del dispositivo de agarre para la aplicación del método de tracción indirecta.....	32
4.2.1. Materiales.....	32
4.2.2. Planos.....	33
4.2.3. Forma de uso.....	37
4.3. Descripción del proceso de ensayo de probetas	38
4.3.1. Ensayo de probetas en forma de paralelepípedo.....	38
4.3.2. Ensayo de probetas cilíndricas:.....	38
4.4. Proceso de eliminación de desperdicios.....	39
CAPÍTULO V	40
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	40
5.1. Tablas de datos recolectados	40
5.2. Ajuste del modelo de regresión simple	50
5.2.1. Normalidad de los datos	50

5.2.2. Análisis de correlación.....	50
5.2.3. Diagrama de dispersión	51
5.2.4. Ajuste del modelo	52
5.3. Diagnóstico del modelo.....	54
5.3.1 Supuestos del modelo de regresión lineal.....	55
5.4. Plan de muestreo.....	58
5.4.1. Pasos para el diseño del plan MIL STD 414	59
5.5. Propuesta de interfaz de usuario.....	63
5.5.1. Manual de uso de la interfaz	64
5.7.2. Valores fijados para el uso de la interfaz.....	65
CAPÍTULO VI	66
ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PROPUESTA.....	66
6.1. Estructura de costos de la metodología actual de ensayo de probetas	66
6.1.1. Costo de hacer mezclas para probetas	66
6.1.2. Costo de horas-hombre para ensayo de probetas.....	67
6.1.3. Costos en los que incurre la empresa por trabajadores lesionados	68
6.1.4. Costo de desecho de desperdicios de las probetas de pavimento	68
6.1.5. Costo total mensual de la metodología actual de ensayo de probetas	69
6.2. Costo del estudio de laboratorio.....	70
6.3. Inversión total para la realización del estudio	71
6.4. Retorno de la inversión	72
CONCLUSIONES.....	73
RECOMENDACIONES.....	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXOS	77
ANEXO 1. Información técnica sobre la máquina de ensayo a compresión usada	78

ANEXO 2. Información técnica sobre la maquina de ensayo a flexión usada.	80
ANEXO 3. Ficha técnica sobre la grava utilizada en el estudio.....	82
ANEXO 4. Ficha técnica sobre la arena utilizada en el estudio.....	84
ANEXO 5. Ficha técnica de especificación del cemento utilizado en el estudio	86
ANEXO 6. Cálculo del espesor de las láminas de acero	88
ANEXO 7. Fotos reales del dispositivo de ajuste.....	90
ANEXO 8. Foto de vigas en forma de paralelepípedo recién tomadas.....	92
ANEXO 9. Foto de vigas en forma de paralelepípedo siendo compactadas	94
ANEXO 10. Material fotográfico del proceso de elaboración de vigas	96
ANEXO 11. Tabla para la obtención del código para el tamaño de muestra para el MIL STD 414.	99
ANEXO 12. Tabla para la obtención del valor M de inspección normal y severa del método MIL STD 414.....	101
ANEXO 13. Tabla para la obtención del valor M de inspección normal y severa del método MIL STD 414.....	103

INTRODUCCIÓN

El éxito de todo proceso industrial en el mundo globalizado de hoy se mide en su competitividad en cada aspecto de la producción. Esta competitividad depende en gran manera de la eficiencia del control de calidad de los distintos procesos que se lleven a cabo en la organización, ya que este departamento garantiza que el producto que se despacha cumple con las características de calidad establecidas y prometidas al cliente.

Un control de calidad deficiente incrementa el riesgo de insatisfacción de la demanda y afecta la imagen de la compañía, perjudicando de esta manera las ventas. Es por esto que la mejora de procesos comprende en gran parte el establecimiento de mejores controles de calidad; y es el deber de un ingeniero industrial no sólo supervisar el correcto desenvolvimiento de dichos controles, sino también monitorear que la empresa renueve sus prácticas periódicamente para mejorar continuamente. A su vez, todo ingeniero industrial debe velar por la seguridad laboral dentro de la empresa, haciendo cumplir las normativas legales de protección a la integridad física de los trabajadores, procurando siempre establecer las condiciones laborales más adecuadas que permitan que el trabajador se desenvuelva en un ambiente cómodo y motivador.

En Venezuela existe un organismo llamado INPSASEL que es el instituto nacional de prevención, salud y seguridad laborales, este es el encargado de velar por el cumplimiento de la Ley Orgánica del Trabajo, los Trabajadores y las Trabajadoras (LOTTT) y Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT). En los últimos años estas leyes se han venido aplicando rigurosamente con sanciones cada vez más fuertes. Es por eso que las empresas tienen entre sus principales prioridades procurar el cumplimiento cabal de estas leyes.

En la actualidad, la principal vía de transporte es el terrestre, tanto para la movilidad de las personas como para distribución de productos de todos los rubros a nivel nacional; sin embargo, este servicio no se encuentra en las mejores condiciones por lo que se requiere que la producción de pavimento y asfalto estén a plenitud, logrando así cubrir la demanda necesaria para su reparación y su futura expansión.

Este trabajo consiste en mejorar el control de calidad del proceso de producción de pavimento de la empresa INVECEM S.A. a través de un cambio en la metodología de ensayo de las probetas, con el objetivo de resolver tanto problemas de condiciones laborales como de ventas.

La investigación contiene seis (6) capítulos:

- El Capítulo I comprende las generalidades del proyecto, al igual que el planteamiento del problema, justificación, alcance, limitaciones y objetivos del mismo.
- El Capítulo II incluye los antecedentes en los que fue basado el estudio y las bases teóricas en las que se fundamenta la investigación.
- En el Capítulo III se establece la metodología de la investigación y los pasos a seguir.
- En el Capítulo IV se explica detalladamente todo lo relacionado con el proceso de medición de resistencia de pavimento, tanto para probetas cilíndricas como para probetas en forma de paralelepípedo. Incluyendo características de los materiales, proceso de obtención de mezclas, descripción de la elaboración de probetas, descripción del proceso de ensayo y el proceso de eliminación de desechos.
- En el Capítulo V se muestran los resultados obtenidos en el estudio y se define los criterios a utilizar en el plan de muestreo por variables.
- El Capítulo VI consiste en un análisis económico donde se determinó la inversión para la propuesta y el retorno de la inversión para la misma.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

La búsqueda del equilibrio perfecto entre la eficiencia y el bienestar en el trabajo muchas veces limita la capacidad de crecimiento de un proceso de producción o las posibles alternativas de solución que un ingeniero industrial pueda presentar ante un problema determinado. Esto se debe, a que una propuesta de solución debe ser rentable y ejecutable tanto en el aspecto económico como en el aspecto de seguridad de sus trabajadores.

Parte del trabajo de un ingeniero industrial es considerar todos los escenarios posibles a nivel de insumos, recurso humano, tecnología, metodología, logística, etc. presentes en un proceso de producción para generar una propuesta que solvete el problema a pesar de todas las restricciones presentes.

La empresa INVECEM S.A. (Industria Venezolana de Cemento) Planta Valencia, se ha visto en la obligación de rechazar el 90% de pedidos de pavimento en el primer semestre del año debido a una incongruencia entre la metodología de ensayo de probetas y las condiciones de trabajo de la misma, incongruencia que impide que los ensayos se ejecuten debidamente. La característica que define la calidad obtenida, es la que resulta de los ensayos de resistencia para verificar que cumplan con las especificaciones deseadas por el cliente.

Estos ensayos de resistencia se realizan posteriores al despacho del pedido, se toma una muestra del lote producido de pavimento para construir 3 probetas por edad a ensayar. Estas edades son de 7, 14 y 28 días respectivamente, y se establecen para analizar el progreso de la resistencia de la mezcla por cada lote de 50 m³ despachado.

Las probetas de pavimento tienen forma de paralelepípedo y los trabajadores deben levantarlas manualmente para colocarlas en la máquina de ensayo de resistencia, donde la probeta es sostenida en dos puntos extremos y es flexionada en su centro por un pistón hasta fracturarla. El problema principal de esta metodología de ensayo es el dimensionamiento de las probetas, que poseen medidas estándares internacionales, presentando un peso mínimo de 30 kilogramos y un peso máximo de 40 kilogramos, siendo el valor nominal de 35 kilogramos. Actualmente, 4 empleados de la empresa padecen de discopatía lumbar, lo que requiere de una adecuación de las tareas asignadas a los mismos. Debido a su condición, están limitados al no poder levantar cargas mayores a 5 kilogramos ni realizar movimientos con alta repetitividad; a su vez, otros 2 empleados sufren de trastornos músculo esqueléticos tales como (hernias lumbares, discales, entre otros) con lo cual sufren de las mismas limitaciones mencionadas anteriormente. Estas enfermedades se presentan debido al alto esfuerzo que realizan los trabajadores diariamente, pues sus jornadas laborales requieren de alto rendimiento físico. La principal causa de estas enfermedades laborales es el elevado peso de las probetas y la alta repetitividad que requiere ensayar las mismas.

Además, debido a la resolución mediante la cual se dicta la norma técnica para el control en la manipulación, levantamiento, y traslado manual de carga, los trabajadores no deberán cargar más de 20 kilogramos de peso, por lo tanto, no se podrán levantar las probetas para ensayarlas. Si las probetas de pavimento no se ensayan, no se podrán vender, ya que es la única manera de comprobar que la mezcla de pavimento está en las condiciones de resistencia que exige el cliente.

El producto de mayor venta de la empresa es el concreto, ya que se puede ensayar sin inconvenientes, pues sus probetas poseen dimensiones cilíndricas y un peso que permite un margen de maniobra amplio sin riesgo de lesión para los trabajadores. Para el ensayo se utiliza una máquina que funciona utilizando dos pistones para comprimir las probetas cilíndricas hasta fracturarlas. Una propuesta de

solución factible al problema, es adecuar esta metodología de ensayo de concreto para ensayar el pavimento de manera más eficiente, descartando así, el uso de probeta en forma de paralelepípedo. Es importante aclarar que la resistencia no dependerá del diseño o dimensiones de la probeta ni de su metodología de ensayo, sino de las variaciones en los componentes de la materia prima utilizada. Estas variaciones son casi imposibles de controlar, ya que dependen del lugar de procedencia de la materia prima o canteras, además de las variaciones propias de cada cantera.

Como se mencionó anteriormente, el pavimento debe ser ensayado a flexión. La máquina de ensayo de concreto funciona a compresión, por lo que deberá ser adaptada para disponer de manera horizontal una probeta cilíndrica de pavimento y flexionarla hasta fracturarla, ya que en la empresa no existe un dispositivo de ensayo capaz de realizar esta tarea.

Además, la metodología de ensayo a utilizar en este estudio, es una prueba destructiva, por tanto, al reducir las dimensiones de la probeta a ensayar permitirá destinar menos cantidad de mezcla para realizar los ensayos y a su vez, disminuir los gastos en desechos de material de ensayo, ya que, por cada lote de 50 m³ de mezcla, 70 litros son destinados a hacer probetas de pavimento.

Esta investigación permitiría a la empresa recuperar su actividad productora de pavimento, reducir desperdicios, costos, y mejorar sus condiciones de seguridad. De esta forma hará más rentable su actividad económica y productiva, colaborando con la necesidad crítica que tiene el país de lograr que su aparato productivo funcione de manera eficiente y así trabajar y edificar el país con productos hechos en Venezuela.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál será el plan de muestreo por variables que permita ensayar la resistencia de probetas de pavimento cilíndricas usando el método de tracción indirecta para eliminar el uso de probetas en forma de paralelepípedo?

1.3. Objetivo de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Proponer un plan de muestreo por variables para medir la resistencia de las probetas de pavimento empleando el método de tracción indirecta.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual resaltando el ensayo de resistencia de las probetas de pavimento, determinando las causas que generan la necesidad de cambiar el método de ensayo.
- Estudiar la factibilidad de la propuesta en términos de rentabilidad y retorno de la inversión.
- Diseñar un método que permita ensayar probetas de pavimento cilíndricas a flexión.
- Evaluar estadísticamente la resistencia de ambos tipos de probetas, determinando si existe relación entre ellas.

1.4. Justificación de la investigación

En las empresas del siglo XXI, la ergonomía es uno de los temas principales a tratar; existen departamentos exclusivamente dedicados al diseño de puestos de trabajo; de esta manera se garantiza que se tratará correctamente al recurso humano, brindándole todas las facilidades para que su desempeño sea óptimo bajo un ambiente seguro y cómodo. Es importante mencionar la ergonomía en este Trabajo Especial de Grado, ya que la metodología de ensayo de las probetas de pavimento está lesionando a los trabajadores y es absoluta responsabilidad de la empresa garantizar condiciones favorables a su personal.

La empresa Industria Venezolana de Cementos (INVECEM) en su Planta de Producción de Concreto ubicada en la Zona Industrial de la Ciudad de Valencia, presenta en su portafolio de productos el “pavimento”. Debido a la dificultad para realizar los ensayos que verifiquen la calidad de las mezclas y las especificaciones deseadas por el cliente (resistencia), se han visto en la obligación de rechazar el 90% de los pedidos solicitados durante el presente año. Esta dificultad está asociada a las limitaciones de personal que posee la empresa, debido a enfermedades ocupacionales, para realizar los ensayos pertinentes.

El día 24 de agosto de 2016 se publicó la Gaceta Oficial número 40.973, en donde entra en vigencia la resolución mediante la cual se dicta la norma técnica para el control en la manipulación, levantamiento, y traslado manual de carga. Esta resolución específica en su Artículo 29 que la carga máxima de manipulación sin medios técnicos de asistencia para hombres es de 20 kilogramos, lo que deja sin efecto la metodología de ensayo actualmente utilizada en la empresa, pues esta queda fuera de los parámetros legales. En el presente trabajo, se busca mejorar la metodología de ensayo, enfocando esfuerzos en la adecuación del tamaño de las probetas para reducir su peso, y así, cumplir la ley a cabalidad.

El beneficio percibido por la empresa gracias a este trabajo radica en la facilidad de elaboración de los ensayos; se podrá asegurar la calidad del producto y con ello podrán tomar los pedidos que requiera el mercado, aumentando sus beneficios monetarios. También, se disminuye el desperdicio de material de ensayo al reducir las dimensiones de las probetas y se logra una mejora sustancial en los riesgos de lesiones músculo esqueléticas del personal que trabaja en el laboratorio.

Adicionalmente, hay un alto beneficio para la Universidad de Carabobo, pues quedará como guía para la realización de investigaciones basadas en planes de muestreo; es baja la cantidad de Trabajos Especiales de Grado que manejan esta herramienta, por lo que este trabajo significa un aporte fundamental como material bibliográfico para futuros estudiantes de Ingeniería Industrial.

De igual manera, la elaboración de este Trabajo Especial de Grado beneficia a sus autores, pues permite aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, logrando así afianzar los conocimientos previos y desarrollar nuevos, además, brinda un elemento esencial que es la experiencia, estando en contacto con el ambiente laboral.

Finalmente, la población venezolana se verá beneficiada con este aporte, al incrementar significativamente la producción de pavimento, se podrán reparar todas las vías terrestres a nivel nacional que requieran mantenimiento. A su vez, al ser esta una empresa del Estado venezolano, la ganancia monetaria percibida servirá para procurar el bienestar de la sociedad, resaltando de esta manera el aporte socio económico de este Trabajo Especial de Grado.

1.5. Alcance

La investigación se llevará a cabo en la empresa INVECEM S.A., la cual se ubica en la Zona Industrial Municipal Norte calle 92, Parroquia Rafael Urdaneta. Valencia - Edo. Carabobo; en el centro de asistencia técnica, específicamente en el laboratorio de ensayo de probetas. En esta área se humedecen las probetas de pavimento en forma de paralelepípedo y las probetas de concreto en forma de cilindro, se encuentran 2 máquinas de ensayo a compresión y 2 de ensayo a flexión. Cuando el proceso de humectación concluye, son llevadas a las máquinas de ensayo para determinar si la mezcla que salió está en las condiciones esperadas, de no ser así, la empresa debe asumir los costos de desmontaje de la construcción realizada con la mezcla vendida al cliente.

Esta propuesta no solo permitirá ensayar el pavimento reduciendo el riesgo de lesiones de los trabajadores, sino que significará una propuesta innovadora capaz de ampliar las posibilidades de mejora en todas las áreas de la empresa, implementando ideas de calidad y aplicables desde el punto de vista productivo y económico.

1.6. Limitaciones

- Disponibilidad de tiempo de los trabajadores del área de ensayo, ya que deberán disponer algunas horas de su jornada laboral para poder realizar los ensayos que requiere el estudio.
- Restricción de acceso a información privada de la empresa como las recetas de creación del pavimento y concreto.
- Establecimiento de numerosas visitas a la empresa con el objetivo de avanzar en el estudio. Estas deberán ser bien planificadas y de corta duración.
- Disponibilidad de la materia prima necesaria para poder realizar la cantidad de ensayos que el estudio requiere para poder arrojar un resultado significativo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO-REFERENCIAL

2.1. Antecedentes de la investigación

- Sandoval (2010), Trabajo Especial de Grado, como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Mecánico Industrial de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Este trabajo tuvo como objetivo principal la aplicación de un plan de muestreo para implementar procedimientos de calidad que mejoren la producción de esponjas de poliuretano. Para ello, realizó un diagnóstico previo del método de producción de la empresa, recolectó los datos necesarios para elaborar ensayos y establecer los parámetros de investigación necesarios en el diseño del plan de muestreo; mediante este estudio, pudo establecer criterios de aceptación que no sólo mejorarán la calidad del producto, sino también la integración del equipo de trabajo en la búsqueda de una solución efectiva.

El aporte de este Trabajo Especial de Grado para nuestra investigación fue el establecimiento de parámetros de selección de lotes para definir la muestra a trabajar en la implementación del plan de muestreo, ya que las mezclas recolectadas requerían de un criterio de calidad específico para el estudio.

- Rodríguez y Yepes (2011), Trabajo Especial de Grado, como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Industrial de la Universidad de Carabobo, Valencia Venezuela. Este trabajo tuvo como objetivo principal

destacar la importancia que tiene el muestreo en la formación profesional de un Ingeniero Industrial. Para esto, realizaron un estudio teórico extenso haciendo énfasis en la aplicación de planes de muestreo para distintos escenarios; a su vez, lograron establecer comparaciones de poblaciones y muestras mostrando cómo hallar correlaciones entre sus variables estadísticas. Los aportes de este Trabajo Especial de Grado para nuestra investigación fueron las bases teóricas de planes de muestreo y el uso de esta herramienta para hallar correlaciones estadísticas entre las variables de estudio de un experimento determinado, ya que era necesario encontrar una relación entre los datos de ensayos de probetas en forma de paralelepípedo y las probetas cilíndricas.

- Torres y Berlis (2013), Trabajo Especial de Grado, como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Industrial de la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (UNEXPO). Este trabajo tuvo como objetivo principal el diseño de un plan de muestreo buscando una descripción detallada de la materia prima utilizada por la empresa. Para esto, describió detalladamente el proceso de recepción, inspección y verificación de los materiales para luego implementar un plan de muestreo por atributos. Esto le permitió a los estudiantes realizar una adaptación a la metodología usada por la empresa y así manejar el stock de manera más eficiente.

El aporte de este Trabajo Especial de Grado para nuestra investigación fue el uso que se le dio al plan de muestreo para realizar un cambio de metodología en la empresa. El estudio por atributos definió los criterios de decisión para la nueva metodología, esta fue manejada a través de una interfaz de usuario que utilizarían los trabajadores para manejar el stock. Esta idea será adaptada a este trabajo para definir la aceptación de las mezclas de pavimento.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Plan de muestreo por variables

Los planes de muestreo por atributos son los más comúnmente usados. Sin embargo, hay situaciones que requieren un muestreo por variables, donde el plan de muestreo se basa en el conocimiento de los datos principales de las variables a manejar, es decir, la media, la desviación estándar y el tipo de distribución que sigue.

Ventajas y desventajas

- Ventajas: el tamaño de muestra en los planes de muestreo por variables es considerablemente menor que en los planes de muestreo por atributos. Además, los planes de muestreo proveen mejores sustentos para mejorar la calidad de procesos, lo que aporta mayor información para la toma de decisiones.
- Desventajas: solo se puede evaluar una característica de calidad en el estudio, así que si se ha de estudiar un proceso que maneje distintas características de calidad, se debe hacer un plan de muestreo por variables distinto para cada característica. Además, la distribución del universo de estudio debe ser conocida o estimada, generalmente requiere de mayores costos por su uso común en ensayos destructivos.

Tipos

Existen dos tipos de planes de muestreo por variables: planes por fracción defectiva y planes por parámetros de proceso. Primero, el plan por parámetros de proceso está diseñado para controlar la media y la desviación estándar de la distribución que sigue el producto en niveles específicos, por lo que manejan herramientas de aceptación como gráficos de control, muestreos secuenciales por

variables y pruebas de hipótesis. Por otro lado, el plan por fracción defectiva está diseñado para determinar la proporción de producto que está fuera de especificaciones; ya que este es el caso de interés para este estudio, manejaremos el concepto de planes de muestreo por variables para fracción defectiva.

Tipos de planes de muestreo por variables para fracción defectiva.

- Shainin lot-plot: creado por el ingeniero Dorian Shainin en los años 40. Es un tipo de plan de muestreo por variables usado en distintas industrias que consiste en crear parcelas de la distribución de frecuencia utilizada, para evaluar decisiones de aceptación o rechazo de un lote específico. Puede ser usado para poblaciones que sigan una distribución normal o no.
- MIL-STD-414: es un plan de muestreo por variables lote a lote. El estándar asume variables aleatorias normalmente distribuidas y se rige por valores numéricos provenientes del límite de calidad aceptable (AQL), cuyo rango va de 0,04% a 15%. Las muestras van en función del tamaño de lote y los niveles de inspección.

2.2.2. Ensayo de tracción indirecta - Método brasileño

La descripción exacta de este ensayo está explicada de manera precisa en un trabajo de publicación de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica de Cataluña

Según el artículo de Maygua Campoverde de la UPC:

El ensayo de tracción indirecta reproduce el estado de tensiones en la fibra inferior de la capa asfáltica o zona de tracción. Es un método práctico y sencillo para caracterizar las propiedades de las mezclas bituminosas o evaluar el fallo provocado por tensiones de tracción.

El ensayo consiste en cargar una probeta cilíndrica, igual a la definida para el ensayo Marshall, con una carga de compresión diametral a lo largo de dos generatrices opuestas Figura 2 (a). Esta configuración de carga, que puede ser sencilla o repetida provoca un esfuerzo de tracción relativamente uniforme en todo el diámetro del plano de carga vertical y esta tracción es la que agota la probeta y desencadena la rotura en el plano diametral Figura 2 (b)

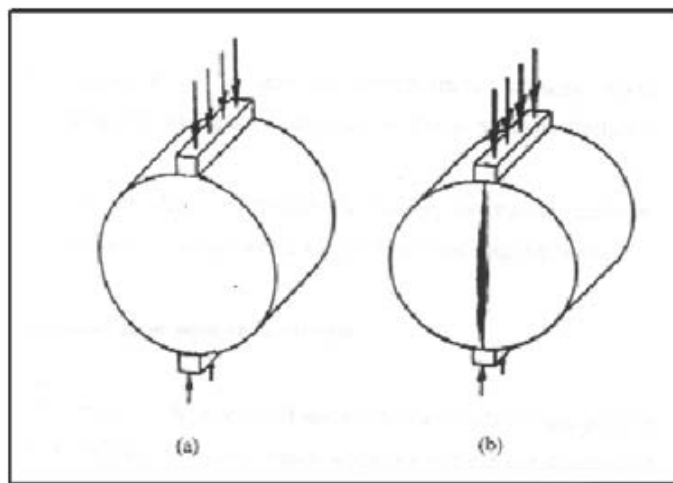


Figura 1. Configuración de la carga (a) y rotura del ensayo de tracción indirecta (b),

El parámetro a medir es la carga de rotura de la probeta Figura 3. También se puede determinar el desplazamiento vertical y la deformación horizontal del diámetro de la probeta durante la realización del ensayo si se dispone de los sistemas necesarios para medirlos. El procedimiento se usa tanto para probetas fabricadas en laboratorio como para las extraídas del pavimento.



Figura 2. Curva carga-deformación resultante del ensayo de tracción indirecta

2.2.3. Análisis de movimientos. Ergonomía.

En INVECEM, S.A. Los trabajadores ensayan las probetas de pavimento haciendo dorso flexión, pues doblan el tronco para recoger las probetas del fondo de las piscinas de curado y las levantan con ambos brazos para así colocarlas en la máquina de ensayo.

De acuerdo al libro Ingeniería de métodos Calidad – Productividad, Fernando Burgos, 2014. Habla de los Principios de economía de movimientos, donde se nombran ciertos puntos que demuestran la incorrecta metodología de ensayos utilizada en la empresa INVECEM, S.A. Uno de estos dice:

Principios de economía de movimientos relacionados con el uso del cuerpo humano.

PUNTO 4:

- “Los movimientos deben quedar confinados a la clasificación más baja con la que sea posible realizar el trabajo”. La clasificación es la siguiente:

Tabla N°1. Clasificación de los movimientos.	
Orden	Partes del cuerpo usadas
Primero	Dedos de las manos
Segundo	Dedos y muñeca
Tercero	Dedos, muñeca y antebrazo
Cuarto	Dedos, muñeca y antebrazo y hombro.
Quinto	Tronco

“Mientras mayor sea el orden de los movimientos mayor es la cantidad de músculos y partes del cuerpo utilizados; por lo tanto, habrá mayor propensión al cansancio y a la fatiga”

El 62,5% de los trabajadores que realizan estos ensayos están lesionados, demostrando así que los movimientos de cuarto y quinto orden que realizan son la causa de dichas lesiones.

2.2.4. Diagramas de dispersión

Es un gráfico que permite examinar la relación que existe entre datos recogidos para dos variables o factores. Estas dos variables pueden enmarcarse de la siguiente manera:

- Una característica de calidad y un factor que la afecta.
- Dos características de calidad relacionadas.
- Dos factores relacionados con una sola característica de calidad.

Se utiliza para:

- Determinar el grado de relación (correlación) entre dos variables cuantitativas.
- Realizar predicciones cuando una variable es fácil de medir y la otra no.

Hay muchos tipos de formas de dispersión y algunas formas típicas se muestran a continuación:

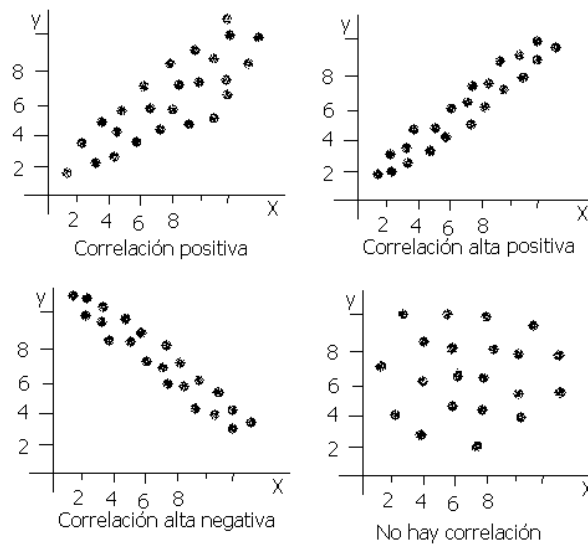


Figura 3. Formas típicas de gráficos de dispersión.

2.2.4.1. Elaboración e interpretación de diagramas de dispersión

Elaboración:

1. Reúna pares de datos (x, y), cuya relación se desea estudiar (al menos 30 pares).
2. Encuentre los valores máximos y mínimos.
3. Determine las escalas que se usarán en los ejes (se recomienda que las longitudes sean aproximadamente iguales, para facilitar la lectura). En lo posible mantener el número de divisiones entre 3 y 10 y usar números redondos. Cuando las variables sean un factor (causa) y una característica de calidad (efecto), use el eje vertical para la característica y el horizontal para el factor.
4. Representar gráficamente los datos adecuadamente. Cuando hayan puntos coincidentes utilice círculos concéntricos.
5. Registrar aspectos que puedan ser de utilidad, tales como: título del diagrama, periodo de tiempo, número de pares de dato, título y unidades de cada eje, nombre de las personas que lo hacen, etc.

Interpretación:

1. Observar en el diagrama si hay puntos muy separados, los cuales pueden ser resultado de errores de medición o de registro de los datos, o fueron causados por cambios en las condiciones de operación.
2. Es necesario excluir estos puntos del análisis correlacional. Sin embargo, en lugar de despreciar completamente estos puntos, se debe dar la debida atención a la causa de estas irregularidades.

2.2.5. Regresión Lineal

La regresión lineal es un modelo matemático que aproxima una relación de dependencia entre una variable predictiva X y una variable de respuesta Y . Se expresa generalmente como:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \epsilon$$

Donde:

- Y : variable dependiente.
- X : variable independiente o predictiva.
- $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$: coeficientes de regresión, miden la influencia de la variable X sobre la variable Y .
- ϵ : diferencia entre el valor real y el valor estimado de cada variable.

2.2.5.1. Supuestos del modelo

- Supuesto de relación lineal: si existe una relación significativa entre la variable que se quiere predecir y las demás variables, entonces habrá una relación lineal o aproximadamente lineal entre ambas.

$$E(e_i) = 0$$

- Supuesto de independencia de los residuos: para que los residuos sean independientes se requiere que no haya auto correlación entre ellos. La auto correlación implica que el residuo en la predicción de un valor es afectado por el residuo en la predicción del valor más cercano.

$$Corr(e_i, e_j) = 0$$

- Supuesto de homocedasticidad: este supuesto asume varianza constante de los residuos, es decir, que los residuos en las predicciones son constantes en cada

predicción. Esto valida que los residuos no aumentan ni disminuyen cuando se predicen valores cada vez más altos o más pequeños.

$$Var(e_i) = \sigma^2$$

- Supuesto de normalidad: este supuesto asume que los residuos siguen una distribución normal, ya que la ausencia de normalidad indica falta de precisión en los intervalos de confianza creados por el modelo.

$$e_i \sim N(0, \sigma^2)$$

2.2.6. Relación entre la resistencia a tracción indirecta y flexión

En anteriores estudios se puede apreciar la factibilidad de relacionar la resistencia a tracción por flexión y la tracción indirecta siendo sometida esta última a compresión uniaxial; según Neville (1977), existe la relación lineal entre el módulo de rotura y la resistencia a la tracción indirecta como se puede observar en la Figura 5. Además plantea que esta relación es independiente de la edad, del tipo de agregado empleado y válido para cualquier mezcla; de la figura se obtiene la expresión matemática siguiente:

$$MR = 16,234 + 1,0294 * TI$$

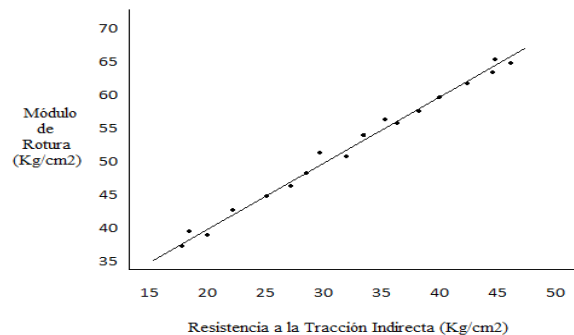


Figura 4. Relación entre el Módulo de Rotura y la Resistencia a la Tracción Indirecta

Para el control rutinario del concreto en pavimentos se podría confirmar dicha relación con algunos datos experimentales, lo que permitiría realizar el control de calidad del concreto por medio del ensayo brasilero (método de tracción indirecta).

2.3. Definición de Términos Básicos

- Compresión: efecto de comprimir o comprimirse.
- Concreto: mezcla constituida por el cemento, agregados inertes finos y gruesos y agua en proporciones adecuadas para que se obtengan las resistencias fijadas.
- Ergonomía: disciplina que se encarga del diseño de lugares de trabajo, herramientas y tareas, de modo que coincidan con las características fisiológicas, anatómicas, psicológicas y las capacidades del trabajador.
- Flexión: tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.
- Pavimento: superficie destinada al tránsito ya sea vehicular o peatonal. Puede ser de piedra, madera, asfalto o concreto.
- Probeta: una pieza (generalmente de dimensiones normalizadas), constituida por un determinado material cuyas características se desea estudiar.
- Resistencia: capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, adquirir deformaciones permanentes o deteriorarse de algún modo.
- Tracción: esfuerzo interno al que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto y tienden a estirarlo o contraerlo.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Nivel y diseño de la investigación

La investigación consistirá en un estudio de tipo descriptivo. Según Hernández-Fernández-Baptista (1997).

Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis, (...). En un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas independientemente, para así, describir lo que se investiga. (p.60)

Esta investigación constituye un diseño de campo nunca antes realizado en esta empresa, pues se definirá una nueva manera de medir la resistencia de pavimento con la mayor precisión posible, mediante la adaptación de un método usado en Brasil; lo que significará una nueva metodología de ensayo en los Laboratorios de Investigación y Desarrollo de la empresa INVECEM S.A.

Para ello se efectuará un diseño de campo bajo modalidad de proyecto factible. Este tipo de proyecto, según Arias (2006) “trata de una propuesta de acción para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización” (p. 134).

3.2. Población y muestra

Este trabajo incluirá como estudio una recolección significativa de datos mediante pruebas obtenidas por ensayos destructivos; la finalidad de este estudio es realizar análisis estadísticos posteriores que permitan relacionar las variables de estudio y así conseguir una propuesta de cambio de la metodología de ensayo de las vigas de pavimento. A continuación, se definen la población y la muestra a tomar.

- Población: Número de probetas de pavimento cilíndricas y en forma de paralelepípedo producidas.
- Tamaño de Población: Finita.
- Muestra: Número de probetas de pavimento cilíndricas y en forma de paralelepípedo ensayadas de todas las mezclas producidas por la empresa en un período de 6 meses.
- Muestreo: Muestreo no probabilístico de tipo Intencional, ya que se seleccionó para el estudio un lote de mezclas específico que fue considerado representativo de la población según el criterio del departamento de calidad de la empresa.
- Variables: Resistencia de las vigas de pavimento cilíndricas y en forma de paralelepípedo.

El estudio estadístico estará basado en el análisis de los diagramas de dispersión y el uso de un modelo de regresión lineal simple. Ya que se va a estudiar utilizar una sola variable explicativa, la muestra tomada fue de 20 mezclas de concreto, lo que representará el estudio de 360 probetas. Este número de mezclas es representativo de la población total de mezclas de concreto producidas por la empresa.

3.3. Fuentes y técnicas para la recolección de información

La recolección de datos es una etapa esencial en esta investigación, ya que los valores obtenidos en los distintos ensayos son los que permitirán hallar la correlación estadística que se busca. Se utilizará la observación directa para la correcta descripción del área crítica donde se desarrollará el estudio pertinente. Así mismo, entrevistas no estructuradas con el personal autorizado del centro de asistencia técnica para la recolección efectiva de la información requerida.

La recolección de datos de ensayo se realizará mediante un muestreo por cuotas, donde los registros se realizarán periódicamente dependiendo de las fechas de elaboración de las vigas de pavimento tanto cilíndricas como en forma de paralelepípedo.

3.4. Técnicas de procesamiento y análisis de la información

La información recolectada se organizará en tablas de datos mediante el software libre ZK Spreadsheet, para realizar los estudios estadísticos necesarios. Además, para la determinación de la distribución que siguen los datos, graficas de correlación y análisis de regresión, se utilizará el lenguaje de programación R, el cual es una implementación de software libre.

3.5. Fases de la investigación

Fase I: Diagnosticar la situación actual resaltando el ensayo de resistencia de las probetas de pavimento, determinando las causas que generan la necesidad de cambiar el método de ensayo.

En esta fase se recolectará toda la información pertinente y necesaria del proceso de control de calidad, específicamente en el ensayo de resistencia de probetas de pavimento. Esto permitirá identificar las debilidades del mismo, comprobando así la necesidad de cambiarlo.

Fase II: Diseñar un método que permita ensayar probetas de pavimento cilíndricas a flexión.

En esta fase se planteará un método de ensayo de pavimento, puntualizando tanto los procedimientos metodológicos como las actividades y los recursos necesarios para llevar adelante su ejecución.

Fase III: Estudiar la factibilidad de la propuesta en términos de rentabilidad y retorno de la inversión.

Realizar los estudios pertinentes de factibilidad, rentabilidad y retorno de la inversión, de manera de justificar el estudio desde el punto de vista económico.

Fase IV: Evaluar estadísticamente la resistencia de ambos tipos de probetas, determinando si existe relación entre ellas.

Una vez diseñado el método y habiendo demostrado su factibilidad, ejecutar el plan con el fin de hallar la relación entre ambos tipos de probetas, lo que permitirá el reemplazo del método actual por el propuesto, marcando pauta para el diseño del plan de muestreo.

CAPÍTULO IV

MODELO DE ENSAYO

En este capítulo se describirá con detalle tanto la metodología de elaboración de las probetas de pavimento usadas actualmente en la empresa, como la propuesta en este trabajo; desde la elaboración de las mezclas, sus componentes y el proceso correspondiente de ensayo de las mismas, para efectos del control de calidad y estudio posterior.

Este estudio se llevó a cabo en su totalidad en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de la empresa INVECEM S.A. planta Valencia, todas las probetas ensayadas fueron tomadas con mezclas realizadas dentro del laboratorio, específicamente con mezcla tipo PAVEX 45, es decir, no se siguió el procedimiento de toma de muestras explicado anteriormente. Esto debido a que se pretende reducir las variables dentro del estudio; esto, aunado a que actualmente la empresa no está produciendo concreto tipo pavimento por los problemas al momento de ensayar las probetas.

4.1. Elaboración de probetas

4.1.1. Componentes

Con el objetivo de disminuir la variabilidad del estudio, se logró apartar las cantidades necesarias de los componentes requeridos, procurando que todos provengan del mismo lote. Dichos componentes tienen las siguientes características:

4.1.1.1. Aditivo

El aditivo utilizado en esta investigación fue el WRDA79, este es un aditivo químico fabricado por la empresa estadounidense GRACE Construction Products. Esto es una solución de lignosulfonato de alta pureza, líquida de color marrón oscuro, de baja viscosidad y de pesos específico de $1,18 \text{ gr/cm}^3$. Este aditivo es utilizado para hacer la mezcla más trabajable con una reducción de agua de hasta un 15%, logrando así que el concreto sea más resistente, menos permeable y de mayor durabilidad.

4.1.1.2. Arena

La arena utilizada en este estudio era proveniente de la ciudad de Tinaquillo estado Cojedes, del proveedor MATERIALES DEL CENTRO. Esta contaba con una densidad de 2,627 kg/l. (Anexo 4)

4.1.1.3. Cemento

El cemento utilizado fue el cemento Portland tipo 1 fabricado por la misma empresa INVECEM S.A. en su planta de San Sebastián, estado Aragua, este es transportado por camiones graneleros de cementos desde San Sebastián hasta la planta Valencia en donde es almacenado en silos. Las características del cemento se pueden observar en el certificado de conformidad de la planta (Anexo 5)

4.1.1.4. Grava

La grava utilizada en este estudio es proveniente de la ciudad de Magdaleno, estado Aragua. Específicamente de la cantera que la misma empresa tiene en este lugar, las características del lote utilizado para este estudio se pueden ver en la ficha técnica de agregados gruesos #0 y #1.

4.1.2. Descripción del proceso de obtención de la mezcla

Previo al inicio del ensayo se determinó la cantidad volumétrica necesaria para llevar a cabo dicho estudio. Es importante destacar que debido a la política de confidencialidad de la empresa, no se podrán mencionar las cantidades exactas utilizadas. Tomando en cuenta las dimensiones de ambos moldes (15 cm de diámetro por 30 cm de altura para los moldes cilíndricos y 15 cm de ancho por 15 cm de alto por 60 cm de largo para los moldes en forma de paralelepípedo) se determinó el volumen requerido para cada uno, dando como resultado $5301,45 \text{ cm}^3$ (5,302 L) y 13500 cm^3 (13,5 L) respectivamente. A su vez, considerando que se necesitaron 9 probetas cilíndricas y 9 vigas en forma de paralelepípedo por muestra (ver punto 4.1.5) se determinó que fueron necesarios 169,21 litros por mezcla. La empresa tiene una normativa que indica que se tiene que agregar una cantidad adicional del 2,24% del volumen calculado debido a las pérdidas tanto en el proceso de mezclado donde el material queda en las paredes del trompo mezclador, como en el proceso de llenado donde el material es derramado fuera de los moldes, obteniendo así un total de 173 litros de concreto por mezcla.

Una vez calculados los requerimientos volumétricos, se diseñó la receta en donde se calcularon las cantidades específicas de los componentes y se procedió al proceso de pesado y mezclado. Este proceso consistió en la siguiente serie de pasos:

1. Disponer de todos los equipos de seguridad personal (lentes de seguridad, botas de seguridad, guantes y tapa boca) y colocárselos.
2. Pesar con unos baldes de albañilería la cantidad de grava establecida y verterla en su totalidad en el trompo mezclador.
3. Pesar la mitad de la cantidad necesaria de arena con unos baldes de albañilería y verterla en el trompo, posteriormente pesar la mitad restante y dejarla en los baldes para ser utilizada posteriormente.

4. Pesar la cantidad de cemento utilizando un recipiente destinado para ello y verterla en su totalidad en el trompo.
5. Pesar la cantidad de agua requerida en un recipiente para su posterior uso.
6. Medir la cantidad de aditivo requerida con un cilindro graduado y verter su totalidad en el recipiente de agua y mezclar con un removedor.
7. Encender el trompo y dejar mezclar por 1 minuto, una vez pasado este tiempo verter el resto de la arena y dejar mezclar por otros 2 minutos o hasta observar que los componentes estén bien mezclados.
8. Agregar la mezcla de agua con aditivo y dejar mezclando por unos 10 minutos.
9. Apagar el trompo.
10. Dejar caer la mezcla sobre las carruchas.
11. Limpiar con la ayuda de una cuchara de albañilería la mayor cantidad posible de restos de mezcla de concreto de las paredes del trompo.
12. Limpiar el trompo con abundante agua utilizando la manguera a presión.

4.1.3. Descripción del proceso de elaboración de probetas en forma de paralelepípedo

La elaboración se llevó a cabo siguiendo la norma COVENIN 340-79. El primer paso realizado fue la preparación de los moldes, los cuales son de acero rígido de superficie interior lisa, con unas dimensiones de 151 mm de alto y ancho y de 452 mm de largo, dichos moldes se colocan de forma ordenada en el suelo (Ver Anexo 8), dichos moldes se engrasan con una mezcla de aceite y gasoil tanto interna como externamente, esto para evitar adherencias al molde al momento de secarse el pavimento.

Una vez preparados los moldes se procedió al proceso de mezclado. Una vez obtenida la mezcla, se vertió en una carrucha y comenzó el proceso de llenado de los

moldes, con la ayuda de una pala se iba vaciando la mezcla en los moldes hasta llenarlos por completo, se acostumbraba a sobrellenarlos para así evitar que quedaran espacios vacíos. Al completar el último molde, empezó el proceso de compactación, este se hacía mediante un vibrador GVC 20 EX profesional el cual se introduce hasta tocar el fondo del molde en 3 puntos equidistantes entre sí (Anexo 9), esto se hace para asegurar la compactación de la mezcla y así evitar espacios vacíos dentro del molde que puedan afectar el estudio, al finalizar con la compactación se golpean suavemente las paredes del molde con un martillo de goma, esto para terminar de asegurar el llenado total del molde. Con la ayuda de una barra plana metálica de 300 mm de longitud y 100 de ancho y 10 mm de grosor se enrasaba la probeta logrando que la superficie quedara perfectamente lisa y al ras con el borde del molde. Se dejó secar 24 horas en el sitio para endurecer y se procedió al desencofrado (desmoldado) de cada probeta, se marcó el número de mezcla, la fecha de elaboración y la fecha a ensayar y se llevaron a un cuarto de curado, el cual es un cuarto con temperatura regulada entre 23 y 26 grados y cuenta con piscinas llenas de agua limpia, exenta de materiales extraños y saturada en cal, en ellas se introducen las probetas y se deja allí hasta sus fechas de ensayo correspondientes.

4.1.4. Descripción del proceso de elaboración de probetas cilíndricas

La elaboración de las probetas cilíndricas se llevó a cabo siguiendo la norma COVENIN 338-2002. El primer paso realizado fue la preparación de los moldes, los cuales son de acero rígido de superficie interior lisa, con una dimensión de 152 mm de diámetro y 305 mm de altura. Dichos moldes son colocados sobre unas mesas rectangulares metálicas que se encuentran a 70 centímetros del piso, dicha mesa es previamente engrasada con una mezcla de aceite y gasoil para evitar adherencias futuras, con dicha mezcla se engrasa cada molde tanto interna como externamente.

Una vez realizado este paso se procedió a llenar los moldes con la mezcla de concreto tipo Pavex (pavimento) en 3 capas de igual volumen aproximadamente; cada capa era equivalente a un tercio de la altura del molde. Al completar cada capa, se compactaba golpeando 25 veces distribuidos de manera uniforme en toda la sección transversal del molde utilizando una barra de acero lisa de 16 mm diámetro y 600 mm de longitud con punta semiesférica. La capa del fondo se compactaba en toda su profundidad, cuando ocurría en las capas superiores se realizaba los golpes de manera que solo penetraba aproximadamente unos 20 o 30 mm de la capa inmediatamente anterior. Una vez compactada las 3 capas se realizaban unos golpes (entre 6 y 10) de manera externa con un martillo de goma para asegurar que no queden espacios vacíos dentro del molde. Luego se enrasaba la probeta con una barra plana metálica de 300mm de longitud, 100 de ancho y 10 mm de grosor. Logrando que la superficie quedara perfectamente lisa y al ras con el borde del molde. Se dejó secar 24 horas en el sitio para endurecer y se procedió al desencofrado (desmoldado) de cada probeta, se marcó el número de mezcla, la fecha de elaboración y la fecha a ensayar y se llevaron a un cuarto de curado, el cual es un cuarto con temperatura regulada entre 23 y 26 grados y cuenta con piscinas llenas de agua limpia, exenta de materiales extraños y saturada en cal, en ellas se introducen las probetas y se dejan humedecer hasta sus fechas de ensayo correspondientes.

4.1.5. Clasificación de probetas

Como se mencionó anteriormente, para este estudio se realizaron 20 mezclas. Las probetas que se realizan con cada mezcla deben ser ensayadas en 3 edades distintas (7, 14 y 28 días) y por exigencia de la norma COVENIN 338-2002 se deben realizar 3 probetas por cada edad. Por lo tanto, como de cada mezcla se hicieron 9 probetas cilíndricas y 9 probetas en forma de paralelepípedo, el estudio requirió de 180 probetas de cada tipo.

4.2. Diseño del dispositivo de agarre para la aplicación del método de tracción indirecta

Para la realización del método de tracción indirecta fue necesaria la incorporación de un dispositivo que permita sostener el cilindro dentro de la máquina de ensayo y que asegure que la carga aplicada será distribuida uniformemente sobre toda la longitud del cilindro.

4.2.1. Materiales

Acero 1018: este material se escogió debido a que dentro de sus características típicas están la buena resistencia mecánica y buena ductilidad, esto lo hace un producto muy útil. Ya que fue destinado para la creación de un dispositivo, era necesario encontrar un material de fácil soldabilidad y fácil de maquinar. La principal característica del material a usar es que debía ser resistente para poder durar todo el estudio sin fracturarse, y cumplió el objetivo sin problemas.

Una vez seleccionado el tipo de acero se procedió a diseñar el dispositivo; para consideraciones del diseño se debió tomar en cuenta que el peso total del dispositivo más el de la probeta no debía superar los 20 kg por lo establecido en la norma técnica para el control en la manipulación, levantamiento, y traslado manual de carga. Por lo tanto, tomando en cuenta que el peso promedio de las probetas cilíndricas es 12,52 kg, el peso del dispositivo no debía superar los 7,42 kg.

Considerando el peso máximo del dispositivo, la densidad del acero 1018 que es $7,875 \text{ g/cm}^3$ y las medidas del dispositivo (que dependen de las dimensiones de la máquina de ensayo y las probetas cilíndricas), se calculó que el grosor a utilizar debía ser de 8mm. Ver cálculos en anexo 6.

4.2.2. Planos

El dispositivo diseñado en este trabajo consta de 4 piezas a ensamblar. A continuación se presentan los planos de cada pieza individualmente.

4.2.2.1. Vistas de la pieza A

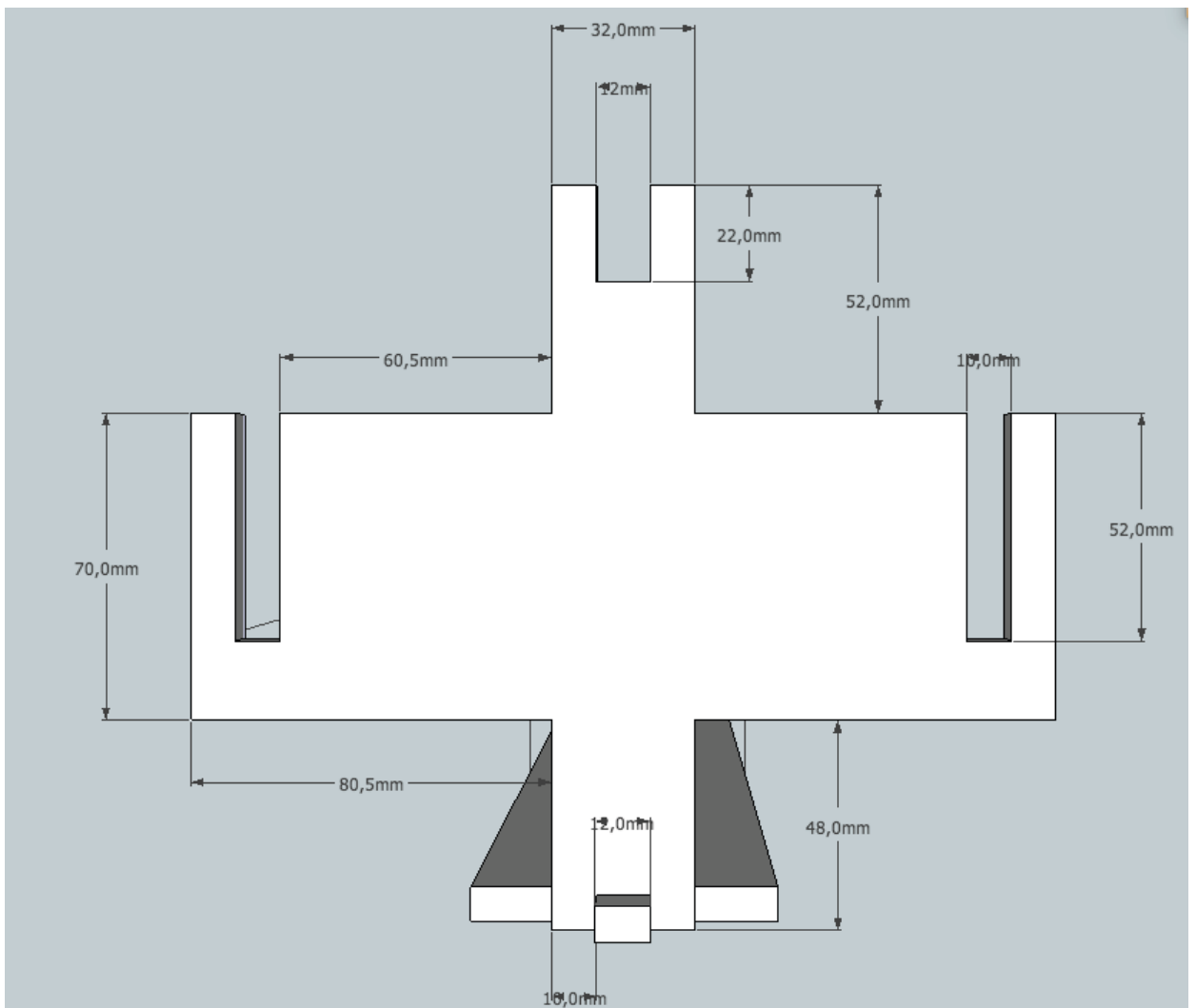


Figura 5. Vista frontal de la pieza A.

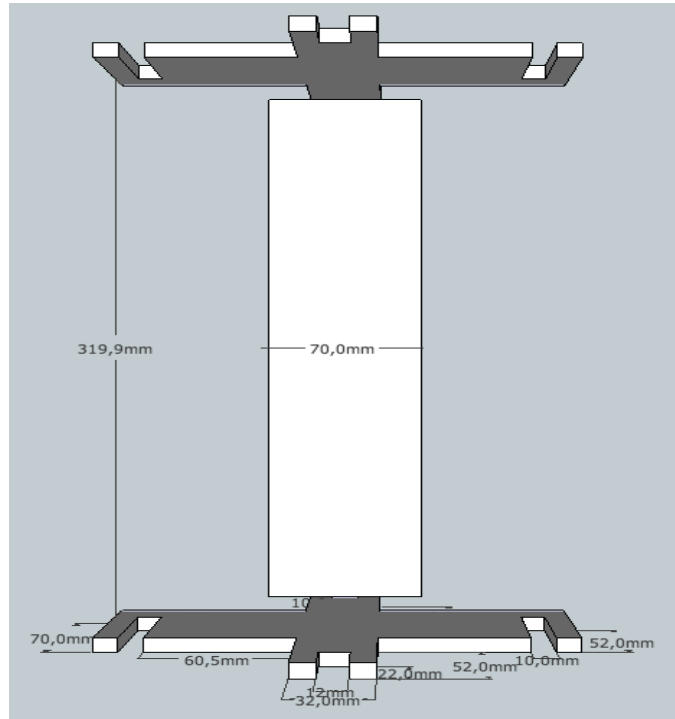


Figura 6. Vista de planta de la pieza A.

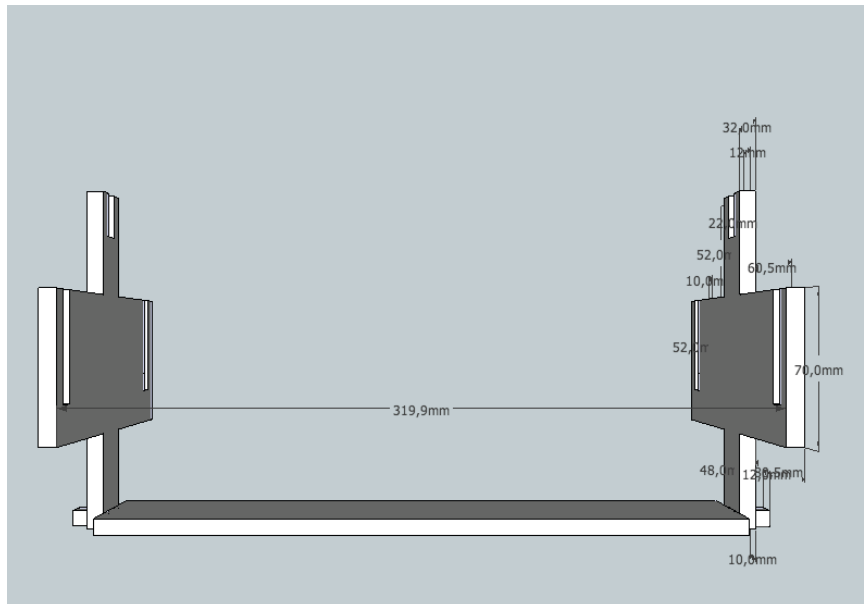


Figura 7. Vista lateral de la pieza A

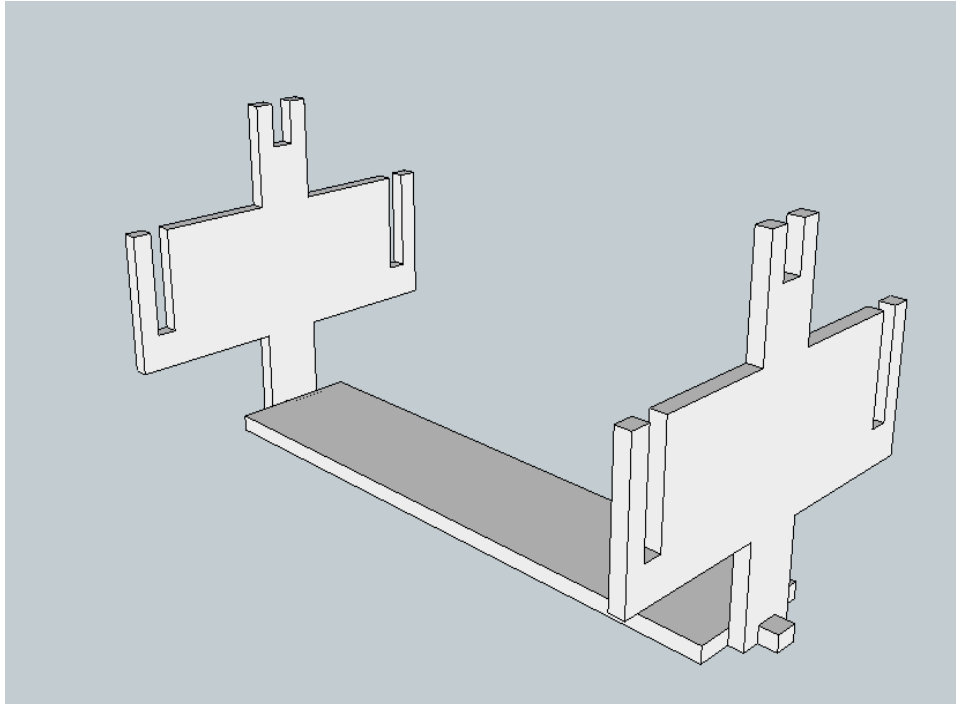


Figura 8. Vista isométrica de la pieza A.

4.2.2.2. Vistas de la pieza B

Esta es la pieza que sostiene el cilindro, por lo tanto se requiere de 2 unidades de este tipo de pieza.

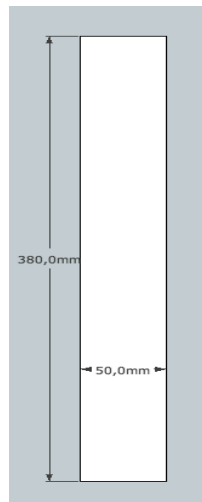


Figura 9. Vista de frontal de la pieza B.

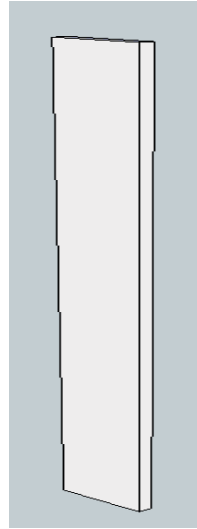


Figura 10. Vista isométrica de la pieza B.

4.2.2.3. Vistas de la pieza C

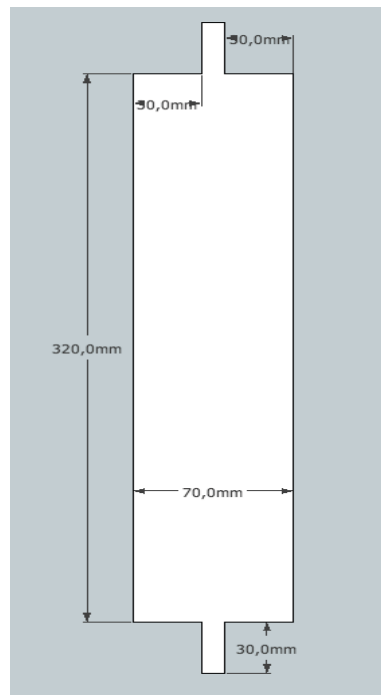


Figura 11. Vista frontal de la pieza C.

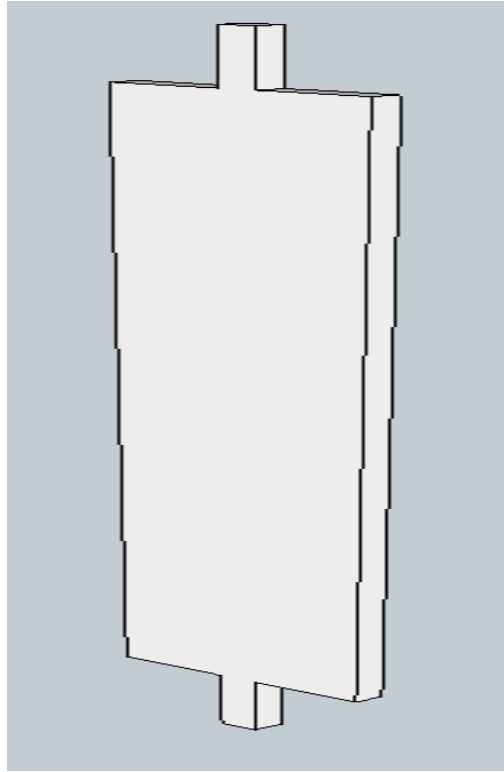


Figura 12. Vista Isométrica de la pieza C.

4.2.3. Forma de uso

El dispositivo cuenta con una pieza fija y tres removibles como se detalla en el punto anterior. El cilindro se coloca dentro de la pieza fija, posteriormente se colocan las barras laterales que aseguran que el cilindro se mantenga sujeto y centrado de manera simétrica en el dispositivo. Finalmente se coloca la barra superior sobre el cilindro que es la que realizará el trabajo de compresión sobre el mismo para poder generar la tracción indirecta. El conjunto de cilindro con el dispositivo es colocado dentro de la máquina de ensayo para realizar el estudio.

4.3. Descripción del proceso de ensayo de probetas

Una vez que un grupo de probetas cumple su edad correspondiente (7, 14 o 28 días) en las piscinas de curado, se procede a extraerlas de las piscinas de curados y a colocarlas en un carro transportador manual. Las probetas son llevadas al laboratorio para registrar su peso, posteriormente se llevan a ensayar. El método de ensayo depende de la forma de la probeta, puede ser en forma de paralelepípedo o cilíndrica; ambos se explican a continuación:

4.3.1. Ensayo de probetas en forma de paralelepípedo

Las probetas en forma de paralelepípedo se ensayan a flexión utilizando una máquina de ensayo marca ELE modelo 1638D 0001 (Anexo 2). Esta se configura previamente estableciendo el área de la sección transversal de la probeta y definiendo una velocidad uniforme que permita un aumento constante de presión, para este estudio se utilizó una tasa constante de $+0,45\text{kN/s}$ tal y como lo indica la norma COVENIN 343. Posteriormente, se dispone dentro de la máquina sostenida por dos soportes y procurando que quede equidistante de los extremos para asegurar que la flexión ocurrirá en el centro de la probeta cuando el pistón baje y la presione. En el preciso momento en que la probeta flexione y se rompa, la máquina se detiene y presenta los datos correspondientes al momento de la flexión.

4.3.2. Ensayo de probetas cilíndricas:

Las probetas cilíndricas se ensayaron con el método de tracción indirecta. Para ello se utilizó en conjunto una máquina de ensayo marca ELE modelo 1797D 0001 (Anexo 1) y el dispositivo de agarre descrito en el punto 4.2 de este trabajo.

Previamente se configura la máquina de ensayo de manera tal de asegurar una velocidad uniforme que permita un aumento constante de presión, para este estudio se utilizó una tasa constante de +2,10 kN/s tal y como lo indica la norma COVENIN 341-79. Posteriormente, El cilindro se coloca dentro del dispositivo, se asegura y se coloca dentro de la máquina de ensayo a compresión. En el preciso momento en que el cilindro fractura, la máquina se detiene y presenta los datos correspondientes al momento de fractura.

4.4. Proceso de eliminación de desperdicios

Los restos de pavimento producto de los ensayos deben desecharse. Los restos de las probetas se colocan en una carrucha y son llevadas al área de desperdicios, ahí se amontonan y la empresa solicita del servicio de un ente privado para su recolección y desecho.

CAPÍTULO V

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Tablas de datos recolectados

La Tabla 2 y la Tabla 3 nos permite identificar la fecha en donde se tomó la muestra y la fecha en la cual debía ser ensayada.

Tabla 2. Fechas de toma de muestra y fechas de ensayo de probetas en forma de paralelepípedo.

Número de muestra	Edad a ensayar	Fecha de toma de muestra	Fecha de ensayo	Número de muestra	Edad a ensayar	Fecha de toma de muestra	Fecha de ensayo
001	7	5/9/16	12/9/16	011	7	20/9/16	27/9/16
001	14	5/9/16	19/9/16	011	14	20/9/16	4/10/16
001	28	5/9/16	3/10/16	011	28	20/9/16	18/10/16
002	7	5/9/16	12/9/16	012	7	22/9/16	29/9/16
002	14	5/9/16	19/9/16	012	14	22/9/16	6/10/16
002	28	5/9/16	3/10/16	012	28	22/9/16	20/10/16
003	7	7/9/16	14/9/16	013	7	22/9/16	29/9/16
003	14	7/9/16	21/9/16	013	14	22/9/16	6/10/16
003	28	7/9/16	5/10/16	013	28	22/9/16	20/10/16
004	7	7/9/16	14/9/16	014	7	26/9/16	3/10/16
004	14	7/9/16	21/9/16	014	14	26/9/16	10/10/16
004	28	7/9/16	5/10/16	014	28	26/9/16	24/10/16
005	7	12/9/16	19/9/16	015	7	26/9/16	3/10/16
005	14	12/9/16	26/9/16	015	14	26/9/16	10/10/16
005	28	12/9/16	10/10/16	015	28	26/9/16	24/10/16
006	7	12/9/16	19/9/16	016	7	28/9/16	5/10/16
006	14	12/9/16	26/9/16	016	14	28/9/16	12/10/16
006	28	12/9/16	10/10/16	016	28	28/9/16	26/10/16
007	7	14/9/16	21/9/16	017	7	28/9/16	5/10/16
007	14	14/9/16	28/9/16	017	14	28/9/16	12/10/16
007	28	14/9/16	12/10/16	017	28	28/9/16	26/10/16
008	7	14/9/16	21/9/16	018	7	29/9/16	6/10/16
008	14	14/9/16	28/9/16	018	14	29/9/16	13/10/16
008	28	14/9/16	12/10/16	018	28	29/9/16	27/10/16
009	7	15/9/16	22/9/16	019	7	30/9/16	7/10/16
009	14	15/9/16	29/9/16	019	14	30/9/16	14/10/16
009	28	15/9/16	13/10/16	019	28	30/9/16	28/10/16
010	7	19/9/16	26/9/16	020	7	30/9/16	7/10/16
010	14	19/9/16	3/10/16	020	14	30/9/16	14/10/16
010	28	19/9/16	17/10/16	020	28	30/9/16	28/10/16

Tabla 3. Fechas de toma de muestra y fechas de ensayo de probetas cilíndricas

Número de muestra	Edad a ensayar	Fecha de toma de muestra	Fecha de ensayo	Número de muestra	Edad a ensayar	Fecha de toma de muestra	Fecha de ensayo
001	7	5/9/16	12/9/16	011	7	20/9/16	27/9/16
001	14	5/9/16	19/9/16	011	14	20/9/16	4/10/16
001	28	5/9/16	3/10/16	011	28	20/9/16	18/10/16
002	7	5/9/16	12/9/16	012	7	22/9/16	29/9/16
002	14	5/9/16	19/9/16	012	14	22/9/16	6/10/16
002	28	5/9/16	3/10/16	012	28	22/9/16	20/10/16
003		7/9/16	14/9/16	013	7	22/9/16	29/9/16
003	14	7/9/16	21/9/16	013	14	22/9/16	6/10/16
003	28	7/9/16	5/10/16	013	28	22/9/16	20/10/16
004	7	7/9/16	14/9/16	014	7	26/9/16	3/10/16
004	14	7/9/16	21/9/16	014	14	26/9/16	10/10/16
004	28	7/9/16	5/10/16	014	28	26/9/16	24/10/16
005	7	12/9/16	19/9/16	015	7	26/9/16	3/10/16
005	14	12/9/16	26/9/16	015	14	26/9/16	10/10/16
005	28	12/9/16	10/10/16	015	28	26/9/16	24/10/16
006	7	12/9/16	19/9/16	016	7	28/9/16	5/10/16
006	14	12/9/16	26/9/16	016	14	28/9/16	12/10/16
006	28	12/9/16	10/10/16	016	28	28/9/16	26/10/16
007	7	14/9/16	21/9/16	017	7	28/9/16	5/10/16
007	14	14/9/16	28/9/16	017	14	28/9/16	12/10/16
007	28	14/9/16	12/10/16	017	28	28/9/16	26/10/16
008	7	14/9/16	21/9/16	018	7	29/9/16	6/10/16
008	14	14/9/16	28/9/16	018	14	29/9/16	13/10/16
008	28	14/9/16	12/10/16	018	28	29/9/16	27/10/16
009	7	15/9/16	22/9/16	019	7	30/9/16	7/10/16
009	14	15/9/16	29/9/16	019	14	30/9/16	14/10/16
009	28	15/9/16	13/10/16	019	28	30/9/16	28/10/16
010	7	19/9/16	26/9/16	020	7	30/9/16	7/10/16
010	14	19/9/16	3/10/16	020	14	30/9/16	14/10/16
010	28	19/9/16	17/10/16	020	28	30/9/16	28/10/16

Las tablas 4 y 5 muestran los valores obtenidos de los pesos de las probetas ensayadas de manera detallada.

Tabla 4. Pesos de las probetas en forma de paralelepípedo

Número de muestra	Edad a ensayar	Peso (kg)			Número de muestra	Edad a ensayar	Peso (kg)		
		P1	P2	P3			P1	P2	P3
001	7	33,05	32,48	32,76	011	7	33,02	32,96	32,99
001	14	32,98	33,10	33,04	011	14	32,97	33,36	33,17
001	28	33,01	32,79	32,90	011	28	33,00	33,16	33,08
002	7	32,73	32,72	32,73	012	7	33,37	33,32	33,35
002	14	33,09	33,18	33,14	012	14	33,06	33,53	33,30
002	28	32,91	32,95	32,93	012	28	33,22	33,43	33,32
003	7	32,70	32,58	32,64	013	7	32,69	33,28	32,99
003	14	32,95	32,30	32,63	013	14	33,77	33,41	33,59
003	28	32,83	32,44	32,63	013	28	33,23	33,35	33,29
004	7	33,10	33,02	33,06	014	7	33,44	32,98	33,21
004	14	33,18	32,66	32,92	014	14	33,75	33,85	33,80
004	28	33,14	32,84	32,99	014	28	33,60	33,42	33,51
005	7	33,22	33,21	33,22	015	7	32,64	32,53	32,59
005	14	33,04	33,13	33,09	015	14	33,06	32,79	32,93
005	28	33,13	33,17	33,15	015	28	32,85	32,66	32,76
006	7	32,61	32,86	32,74	016	7	33,23	33,14	33,19
006	14	33,20	33,03	33,12	016	14	33,11	33,43	33,27
006	28	32,91	32,95	32,93	016	28	33,17	33,29	33,23
007	7	33,94	33,34	33,64	017	7	32,82	32,89	32,86
007	14	33,14	33,64	33,39	017	14	32,85	33,01	32,93
007	28	33,54	33,49	33,52	017	28	32,84	32,95	32,89
008	7	33,45	33,45	33,45	018	7	32,86	32,97	32,92
008	14	33,23	33,56	33,40	018	14	32,59	32,46	32,53
008	28	33,34	33,51	33,42	018	28	32,73	32,72	32,72
009	7	32,97	33,00	32,99	019	7	32,98	33,66	33,32
009	14	32,97	32,78	32,88	019	14	32,66	32,17	32,42
009	28	32,97	32,89	32,93	019	28	32,82	32,92	32,87
010	7	33,37	33,43	33,40	020	7	33,15	33,21	33,18
010	14	33,06	33,50	33,28	020	14	31,89	32,01	31,95
010	28	33,22	33,47	33,34	020	28	32,52	32,61	32,57

Una vez pesada la última probeta en forma de paralelepípedo se obtuvo que estas presentan un peso promedio de 33,05 kg

Tabla 5. Pesos de las probetas cilíndricas

Número de muestra	Edad a ensayar	Peso (kg)			Número de muestra	Edad a ensayar	Peso (kg)		
		P1	P2	P3			P1	P2	P3
001	7	12,57	12,36	12,51	011	7	12,69	12,60	12,65
001	14	12,47	12,57	12,52	011	14	12,50	12,50	12,50
001	28	12,47	12,39	12,46	011	28	12,55	12,52	12,54
002	7	12,36	12,49	12,39	012	7	12,60	12,48	12,54
002	14	12,58	12,55	12,41	012	14	12,36	12,53	12,45
002	28	12,49	12,47	12,50	012	28	12,56	12,53	12,55
003	7	12,39	12,38	12,48	013	7	12,52	12,52	12,52
003	14	12,37	12,40	12,43	013	14	12,36	12,53	12,45
003	28	12,46	12,45	12,46	013	28	12,56	12,54	12,55
004	7	12,49	12,53	12,54	014	7	12,39	12,42	12,41
004	14	12,57	12,46	12,60	014	14	12,36	12,53	12,45
004	28	12,47	12,46	12,54	014	28	12,55	12,54	12,54
005	7	12,45	12,52	12,61	015	7	12,37	12,41	12,39
005	14	12,60	12,53	12,38	015	14	12,47	12,45	12,46
005	28	12,48	12,48	12,49	015	28	12,54	12,53	12,54
006	7	12,60	12,50	12,55	016	7	12,56	12,47	12,52
006	14	12,53	12,58	12,56	016	14	12,52	12,55	12,54
006	28	12,49	12,48	12,64	016	28	12,52	12,51	12,52
007	7	12,70	12,57	12,63	017	7	12,49	12,47	12,48
007	14	12,60	12,57	12,63	017	14	12,49	12,43	12,46
007	28	12,54	12,52	12,54	017	28	12,52	12,51	12,52
008	7	12,54	12,54	12,60	018	7	12,44	12,42	12,43
008	14	12,69	12,51	12,50	018	14	12,47	12,50	12,49
008	28	12,52	12,49	12,57	018	28	12,52	12,51	12,52
009	7	12,63	12,50	12,58	019	7	12,51	12,53	12,52
009	14	12,58	12,57	12,51	019	14	12,59	12,48	12,54
009	28	12,52	12,49	12,67	019	28	12,52	12,51	12,51
010	7	12,69	12,65	12,67	020	7	12,46	12,54	12,50
010	14	12,66	12,79	12,73	020	14	12,64	12,64	12,64
010	28	12,54	12,52	12,53	020	28	12,52	12,51	12,51

Una vez pesada la última probeta cilíndrica se obtuvo que estas presentan un peso promedio de 12,5174 kg

Las Tablas 6 y 7 muestran los valores obtenidos de las cargas máximas soportadas por las probetas de manera detallada. Mientras que las tablas 8 y 9 muestran los valores obtenidos de resistencia para cada probeta ensayada.

Tabla 6. Cargas máximas aplicadas sobre las probetas en forma de paralelepípedo

Número de muestra	Edad a ensayar	Carga(kN)			Número de muestra	Edad a ensayar	Carga(kN)		
		P1	P2	P3			P1	P2	P3
001	7	43,25	43,32	44,06	011	7	37,49	38,53	38,01
001	14	44,22	43,89	43,32	011	14	42,58	42,52	42,55
001	28	48,64	48,29	49,31	011	28	46,84	46,77	46,80
002	7	39,72	39,86	39,79	012	7	40,66	38,83	39,75
002	14	41,53	40,47	41,01	012	14	43,29	42,18	42,73
002	28	45,71	44,53	45,12	012	28	47,61	46,40	47,78
003	7	39,88	39,65	39,77	013	7	42,16	41,42	41,05
003	14	42,21	44,36	43,28	013	14	42,71	42,86	43,63
003	28	46,42	48,80	47,61	013	28	45,73	45,84	45,78
004	7	42,29	40,00	42,32	014	7	43,16	41,39	43,05
004	14	44,64	43,50	42,90	014	14	46,55	43,09	44,09
004	28	46,52	47,85	47,96	014	28	47,35	46,09	47,57
005	7	34,95	38,82	38,65	015	7	39,42	39,24	39,33
005	14	39,29	40,15	40,57	015	14	41,91	40,58	42,02
005	28	43,22	44,16	43,69	015	28	46,10	44,64	44,64
006	7	35,99	35,70	35,99	016	7	41,11	40,37	41,58
006	14	42,73	41,43	42,08	016	14	41,38	42,66	42,69
006	28	47,01	45,57	46,29	016	28	45,52	48,41	47,74
007	7	39,58	37,97	38,78	017	7	39,58	38,27	38,19
007	14	42,15	45,63	44,67	017	14	43,28	44,01	44,45
007	28	46,37	50,22	47,56	017	28	47,60	48,33	47,97
008	7	43,27	38,01	41,54	018	7	37,87	40,01	38,93
008	14	43,44	42,19	42,74	018	14	44,88	42,15	43,52
008	28	47,60	46,41	47,01	018	28	49,37	46,37	48,64
009	7	40,67	40,46	40,57	019	7	36,73	41,16	38,21
009	14	42,24	46,07	44,15	019	14	41,78	42,40	42,94
009	28	46,46	50,67	48,57	019	28	32,82	32,92	32,87
010	7	40,27	38,17	40,09	020	7	33,15	33,21	33,18
010	14	41,85	45,00	42,69	020	14	31,89	32,01	31,95
010	28	45,81	44,15	45,83	020	28	32,52	32,61	32,57

Tabla 7. Cargas máximas aplicadas sobre las probetas cilíndricas

Número de muestra	Edad a ensayar	Carga(kN)			Número de muestra	Edad a ensayar	Carga(kN)		
		P1	P2	P3			P1	P2	P3
001	7	244,20	227,50	245,07	011	7	216,50	201,00	208,77
001	14	249,50	273,50	253,94	011	14	236,20	220,00	235,17
001	28	274,47	300,52	287,50	011	28	259,86	241,97	243,49
002	7	222,10	234,70	228,42	012	7	209,50	201,50	205,34
002	14	248,50	223,60	236,02	012	14	191,00	224,50	207,78
002	28	273,31	245,94	259,62	012	28	249,45	279,63	264,54
003	7	205,41	196,79	201,10	013	7	201,00	218,80	210,36
003	14	250,20	242,50	253,44	013	14	227,26	241,82	241,60
003	28	275,25	266,78	263,59	013	28	249,98	257,01	247,40
004	7	129,80	222,80	231,14	014	7	218,91	240,69	229,80
004	14	241,40	233,50	237,47	014	14	225,42	255,81	240,62
004	28	265,53	256,90	261,22	014	28	247,96	281,39	271,75
005	7	233,70	228,00	230,86	015	7	209,58	193,20	193,96
005	14	239,20	237,10	243,44	015	14	246,40	243,00	244,71
005	28	263,12	256,90	252,59	015	28	274,47	300,52	287,50
006	7	176,79	197,57	187,18	016	7	227,70	231,10	229,38
006	14	248,80	236,20	242,95	016	14	229,60	231,20	237,47
006	28	273,70	260,79	267,24	016	28	274,47	300,52	280,08
007	7	226,00	222,60	232,38	017	7	188,60	208,30	198,45
007	14	247,10	234,30	234,18	017	14	208,10	241,70	224,89
007	28	271,75	259,78	265,77	017	28	274,47	300,52	294,57
008	7	190,40	222,00	218,42	018	7	193,70	217,20	212,52
008	14	243,60	216,90	236,94	018	14	243,00	240,90	234,89
008	28	267,16	238,55	245,44	018	28	274,47	300,52	287,50
009	7	227,80	213,00	220,40	019	7	178,80	196,20	187,49
009	14	248,50	248,46	246,94	019	14	202,40	204,00	203,22
009	28	273,31	269,96	271,64	019	28	274,47	300,52	294,57
010	7	213,40	200,60	207,00	020	7	194,00	185,90	182,55
010	14	229,00	232,90	230,97	020	14	209,30	220,00	214,67
010	28	251,92	256,20	254,06	020	28	274,47	300,52	287,50

Tabla 8. Resistencias obtenidas en las probetas en forma de paralelepípedo

Número de muestra	Edad a ensayar	Resistencia (kgf/cm ²)			Número de muestra	Edad a ensayar	Resistencia (kgf/cm ²)		
		P1	P2	P3			P1	P2	P3
001	7	57,66	57,76	58,74	011	7	49,99	51,38	50,69
001	14	58,96	58,53	57,77	011	14	56,77	56,69	56,73
001	28	64,86	64,38	65,75	011	28	62,45	62,36	62,40
002	7	52,96	53,14	53,05	012	7	54,24	51,77	53,01
002	14	55,40	53,97	54,69	012	14	57,71	56,24	56,98
002	28	60,94	59,37	60,15	012	28	63,48	61,86	63,70
003	7	53,17	52,87	53,02	013	7	56,21	55,22	54,74
003	14	56,27	59,15	57,71	013	14	56,94	57,15	58,18
003	28	61,90	65,07	63,48	013	28	60,97	61,12	61,05
004	7	59,52	53,33	56,43	014	7	57,54	55,19	57,40
004	14	56,39	58,00	57,20	014	14	62,07	57,46	58,79
004	28	62,03	63,80	63,94	014	28	63,13	61,45	63,42
005	7	53,26	51,76	51,53	015	7	52,56	52,32	52,44
005	14	52,39	53,53	54,09	015	14	55,88	54,11	56,03
005	28	57,63	58,88	58,26	015	28	61,47	59,52	59,51
006	7	47,99	47,99	47,99	016	7	54,81	53,82	55,45
006	14	56,98	55,24	56,11	016	14	55,17	58,68	56,93
006	28	62,68	60,76	61,72	016	28	60,69	64,55	63,65
007	7	52,77	50,63	51,70	017	7	52,77	51,03	50,92
007	14	56,20	60,87	59,57	017	14	57,70	58,58	59,27
007	28	61,82	66,96	63,41	017	28	63,47	64,44	63,95
008	7	57,92	50,58	55,38	018	7	50,46	53,34	51,90
008	14	57,70	56,26	56,98	018	14	59,84	56,20	58,02
008	28	63,47	61,89	62,68	018	28	65,82	61,82	64,85
009	7	54,23	53,95	54,09	019	7	48,97	54,88	50,95
009	14	56,32	61,42	58,87	019	14	55,71	56,53	57,25
009	28	61,95	67,56	64,76	019	28	61,28	62,18	62,76
010	7	53,95	50,89	53,45	020	7	51,78	49,55	49,69
010	14	55,80	60,00	56,92	020	14	53,71	54,78	55,38
010	28	61,08	58,87	61,11	020	28	59,08	60,26	60,80

Tabla 9. Resistencias obtenidas en las probetas cilíndricas

Número de muestra	Edad a ensayar	Resistencia (kgf/cm ²)			Número de muestra	Edad a ensayar	Resistencia (kgf/cm ²)		
		P1	P2	P3			P1	P2	P3
001	7	34,54	32,80	34,67	011	7	30,63	28,44	29,54
001	14	35,30	38,65	35,93	011	14	33,42	31,12	33,27
001	28	38,83	42,52	40,67	011	28	36,76	34,23	34,45
002	7	31,42	33,21	32,32	012	7	29,63	28,47	29,05
002	14	35,15	31,63	33,39	012	14	27,03	31,76	29,40
002	28	38,67	34,79	36,73	012	28	35,29	39,56	37,43
003	7	29,06	27,84	28,45	013	7	28,56	30,96	29,76
003	14	35,40	34,31	35,86	013	14	32,15	34,21	34,18
003	28	38,94	37,74	37,29	013	28	35,37	36,36	35,00
004	7	32,70	31,52	18,37	014	7	30,97	34,05	32,51
004	14	34,15	33,04	33,60	014	14	31,89	36,19	34,04
004	28	37,57	36,34	36,95	014	28	35,08	39,81	38,44
005	7	33,06	32,26	32,66	015	7	29,65	27,33	27,44
005	14	33,84	33,04	34,44	015	14	34,86	34,38	34,62
005	28	37,22	36,34	35,73	015	28	38,83	42,52	40,67
006	7	25,01	27,95	26,48	016	7	32,21	32,69	32,45
006	14	35,20	33,54	34,37	016	14	32,48	32,71	33,60
006	28	38,72	36,89	37,81	016	28	38,83	42,52	39,62
007	7	31,97	31,78	32,88	017	7	26,68	29,47	28,08
007	14	34,95	33,41	33,13	017	14	29,43	34,20	31,82
007	28	38,45	36,75	37,60	017	28	38,83	42,52	41,67
008	7	26,94	31,40	30,90	018	7	27,40	30,73	30,07
008	14	34,36	30,68	33,52	018	14	34,48	34,08	33,23
008	28	37,80	33,75	34,72	018	28	38,83	42,52	40,67
009	7	32,23	30,13	31,18	019	7	25,30	27,75	26,53
009	14	35,15	34,72	34,94	019	14	28,64	28,86	28,75
009	28	38,67	38,19	38,43	019	28	38,83	42,52	41,67
010	7	30,19	28,38	29,29	020	7	27,45	26,30	25,83
010	14	32,40	32,95	32,68	020	14	29,61	31,13	30,37
010	28	35,64	36,25	35,94	020	28	38,83	42,52	40,67

En las tablas 7 y 9, específicamente en la muestra 004 a los 7 días, al momento de ensayar la tercera probeta de la muestra se escuchó un sonido de ruptura que no era propio de los sonidos del ensayo; la probeta fracturó con unos valores muy por debajo

de la tendencia que se venía observando; al revisar el dispositivo se encontró que los puntos de soldadura de la base habían fallado dejando al dispositivo endeble, por lo que estos datos no serán considerados para el estudio. Posteriormente, el dispositivo fue llevado al taller para ser arreglado, colocándole puntos de soldadura de mejor calidad. Se realizó un ensayo de prueba con un cilindro sobrante en el laboratorio para verificar el correcto funcionamiento del dispositivo.

Una vez recolectados todos los datos de resistencias se calculó un promedio por edad de cada muestra, tanto para las probetas en forma de paralelepípedo como para las probetas en forma cilíndricas. Tal y como se muestran en las tablas 10 y 11 respectivamente.

Tabla 10. Promedios de resistencias obtenidas en probetas en forma de paralelepípedo

Muestra	Promedios de resistencia por edad (kgf/cm ²)		
	7	14	28
001	58,0533	58,4183	64,9962
002	53,0500	54,6850	60,1535
003	53,0200	57,7100	63,4810
004	56,4250	57,1950	63,2578
005	52,1833	53,3367	58,2560
006	47,9900	56,1100	61,7210
007	51,7000	58,8783	64,0618
008	54,6267	56,9800	62,6780
009	54,0900	58,8700	64,7570
010	52,7633	57,5733	60,3517
011	50,6850	56,7300	62,4030
012	53,0050	56,9750	63,0158
013	55,3883	57,4217	61,0450
014	56,7083	59,4383	62,6667
015	52,4400	55,3383	60,1678
016	54,6917	56,9250	62,9608
017	51,5733	58,5167	63,9540
018	51,9000	58,0200	64,1653
019	51,5983	56,4967	62,0753
020	50,3383	54,6217	60,0462

Tabla 11. Promedios de resistencias obtenidas en probetas cilíndricas

Muestra	Promedios de resistencia por edad(kgf/cm ²)		
	7	14	28
001	34,0033	36,6250	40,6725
002	32,3150	33,3900	36,7290
003	28,4500	35,1883	37,9905
004	32,1100	33,5950	36,9545
005	32,6600	33,7733	36,4340
006	26,4800	34,3700	37,8070
007	32,2083	33,8300	37,5980
008	29,7467	32,8533	35,4220
009	31,1800	34,9350	38,4285
010	29,2850	32,6750	35,9425
011	29,5350	32,6033	35,1470
012	29,0500	29,3950	37,4250
013	29,7600	33,5133	35,5750
014	32,5100	34,0400	37,7773
015	28,1400	34,6200	40,6725
016	32,4500	32,9283	40,3225
017	28,0750	31,8150	41,0058
018	29,3983	33,9300	40,6725
019	26,5250	28,7500	41,0058
020	26,5250	30,3700	40,6725

5.2. Ajuste del modelo de regresión simple

Una vez establecido el modelo que relaciona la resistencia de las probetas en forma de paralelepípedo con la resistencia de las probetas cilíndricas, se procede a estudiar la normalidad de los datos y se calcula la correlación entre resistencia de las probetas en forma de paralelepípedo y resistencia de las probetas cilíndricas, realizando además el correspondiente gráfico de dispersión.

5.2.1. Normalidad de los datos

A través de la prueba de Shapiro-Wilk, se logra contrastar el conjunto de datos obtenidos luego de la serie de pruebas ejecutadas para así determinar si estos provienen de una población normalmente distribuida.

Dado un nivel de confianza del 95%. Se tiene $\alpha = 0,05$.

- **Shapiro. Test (Paralelepípedo)**

Shapiro-Wilk normality test:

- Data: Paralelepípedo
- $W = 0,97179$; P-value = 0,1784

- **Shapiro. Test (Cilíndricas)**

Shapiro-Wilk normality test:

- Data: Cilíndricas
- $W = 0,96796$; P-value = 0,1159

Dado que el P-value de ambas pruebas de normalidad es mayor a α , se puede concluir que los datos siguen una distribución normal.

5.2.2. Análisis de correlación

Este análisis nos permitirá cuantificar el grado de asociación lineal entre las variables continuas, esto es esencial para el estudio que se viene llevando a cabo,

pues determinando dicha correlación y a través del modelo de regresión se podrán predecir los valores de una variable respecto a la otra.

Dado un nivel de confianza de 95%. Se tiene en la correlación simple en R:

- **Cor. Test (Paralelepípedo, Cilíndricas)**

Pearson's product-moment correlation:

- Data: Paralelepípedo and Cilíndricas
- $t = 13,459$; $df = 58$; $P\text{-value} < 2,2 \times 10^{-16}$

Alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0.

95 percent confidence interval:

- $LI = 0,7912656$; $LS = 0,9207626$

Sample estimates: Correlation 0,8703233

Dado el minúsculo valor del P-value se puede asegurar que en efecto si existe correlación entre las variables. Además, la prueba arrojó un Intervalo de Confianza (0,7912656; 0,9207626) para el valor de correlación obtenido: Correlation = 0,8703233.

5.2.3. Diagrama de dispersión

Se utilizará un diagrama de dispersión para mostrar gráficamente la relación existente entre los valores de resistencia de probetas en forma de paralelepípedo y las probetas cilíndricas, siendo las segunda la variable de control.

- Plot (Paralelepípedo, Cilíndricas, pch = 20, xlab = "Resistencia de vigas cilíndricas (kgf/cm²)", ylab = "Resistencia de vigas en forma de

paralelepípedo (kgf/cm^2 "), main = "Diagrama de dispersión", cex.main = 0,95, col = "blue")

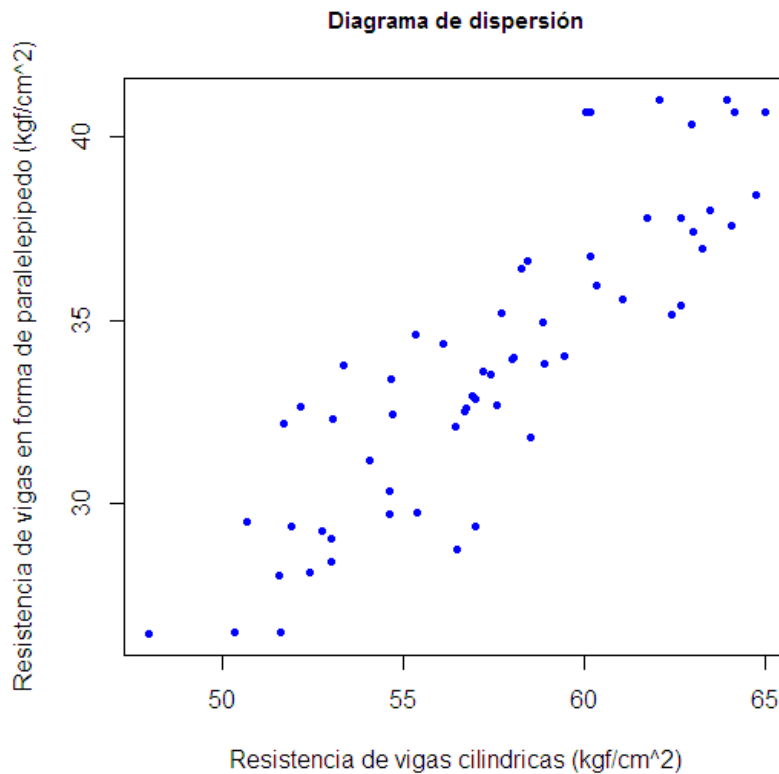


Figura 13. Diagrama de dispersión entre Resistencia de probetas

Se evidencia gráficamente la correlación existente entre las variables de estudio, mostrando una correlación positiva entre los valores de resistencia de las probetas en forma de paralelepípedo y los valores de resistencia de las probetas cilíndricas.

5.2.4. Ajuste del modelo

El ajuste del modelo en R se ejecutó mediante el uso de la función `lm()` a través del modelo "modelAu" con el fin de encontrar una curva que se ajuste a los

valores obtenidos en el gráfico de dispersión obtenido en el punto anterior. Para $\alpha = 0,05$ se calcula:

- **Modelo < - lm(Paralelepípedo ~ Cilíndricas)**

Summary (modelo)

- Call:

lm (formula = Paralelepípedo ~ Cilíndricas)

- Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-4,2966	-1,4907	0,3056	1,1988	3,7235

- Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)

(Intercept)	25,97609	2,35653	11,02	$7,43 \times 10^{-16}$
Cilíndricas	0,93208	0,06925	13,46	$< 2 \times 10^{-16}$

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

- Residual standard error: 2,117 on 58 degrees of freedom.
- Multiple R-squared: 0,7575 Adjusted R-squared: 0,7533
- F-statistic: 181,1 on 1 and 58 DF, P-value: $< 2.2 \times 10^{-16}$

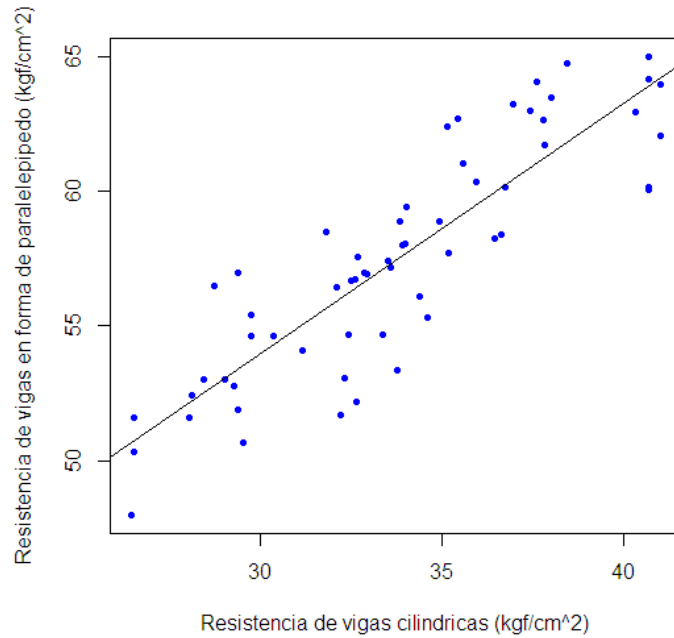


Figura 14. Diagrama de dispersión ajustado entre Resistencia de probetas

El modelo ajustado a los datos viene dado por la siguiente ecuación:

$$Y = 0,93208 X + 25,97609$$

En donde

X = valores de resistencia de probetas cilíndricas.

Y = valores de resistencia de probetas en forma de paralelepípedo.

5.3. Diagnóstico del modelo

Se continúa realizando el diagnóstico analítico. Para esto, se comprobarán 4 supuestos del modelo de regresión lineal a través de la obtención de residuos, valores ajustados y estadísticos necesarios. Los supuestos a analizar son los siguientes:

5.3.1. Supuestos del modelo de regresión lineal

Una vez obtenido la ecuación lineal mediante el método de regresión lineal se procedió a comprobar los supuestos que este método presenta, esto con el fin de garantizar que su uso fue el correcto.

5.3.1.1. Supuesto de relación lineal

Este supuesto exige que exista una relación significativa entre la variable que se quiere predecir y la otra variable. Para este supuesto se trabajó en función al coeficiente de determinación (R^2) o el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson, dando como resultado un $R^2 = 0,75746$. Partiendo del hecho que, para estudios reales, el valor mínimo aceptado para afirmar la alta relación entre variables es de 0,70; se considera que el R^2 obtenido indica una alta correlación positiva. Por ende, se puede confirmar el cumplimiento de este supuesto.

5.3.1.2. Supuesto de independencia de los residuos

Este supuesto exige que exista una relación significativa entre la variable que se quiere predecir y la otra variable. Se prueba a través de la prueba de Durbin-Watson:

Plot (residuals.modelo, pch = 20, ylab = "Residuos", xlab = "Índices")

Abline (h = cor (Paralelepípedo, Cilíndricas), col = "blue")

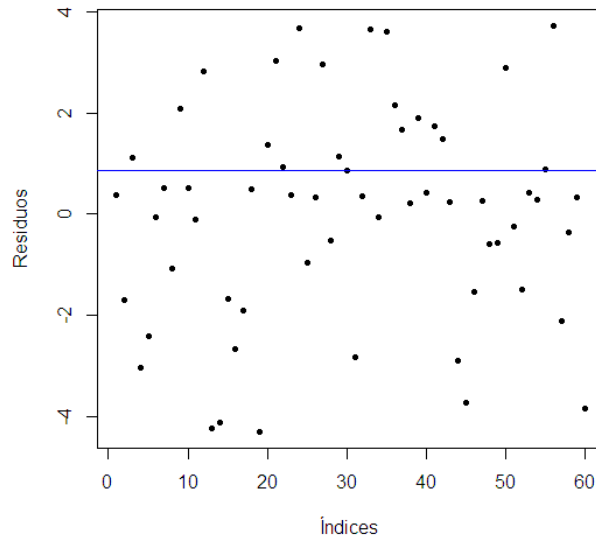


Figura 15. Gráfico de valores residuales vs valores ajustados

De haber una correlación seria, se verían picos más largos de residuos por encima y por debajo de la línea de correlación. A menos que estos efectos sean fuertes, puede ser difícil de detectar la auto correlación, por ello se realizó el *contraste de Durbin-Watson*:

dwtest (Paralelepípedo ~ Cilíndricas, alternative = "two. sided")

Durbin-Watson test

- Data: Paralelepípedo ~ Cilíndricas
- DW = 1.6389, p-value = 0.172
- Alternative hypothesis: true autocorrelation is not 0

En el contraste de auto correlación también se acepta la hipótesis nula: no existe correlación entre los residuos con un valor P superior a 0,05.

5.3.1.3. Supuesto de normalidad

Se le aplicó la prueba de Shapiro-Wilk a los residuos obtenidos con el fin de determinar la normalidad de los mismos.

```
shapiro.test(rstudent.modelo)
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: rstudent.modelo
```

```
W = 0.96629, p-value = 0.09584
```

```
qqnorm(rstudent.modelo, main = "Normal(0,1)",col="red")
```

```
qqline(rstudent.modelo,col="blue")
```

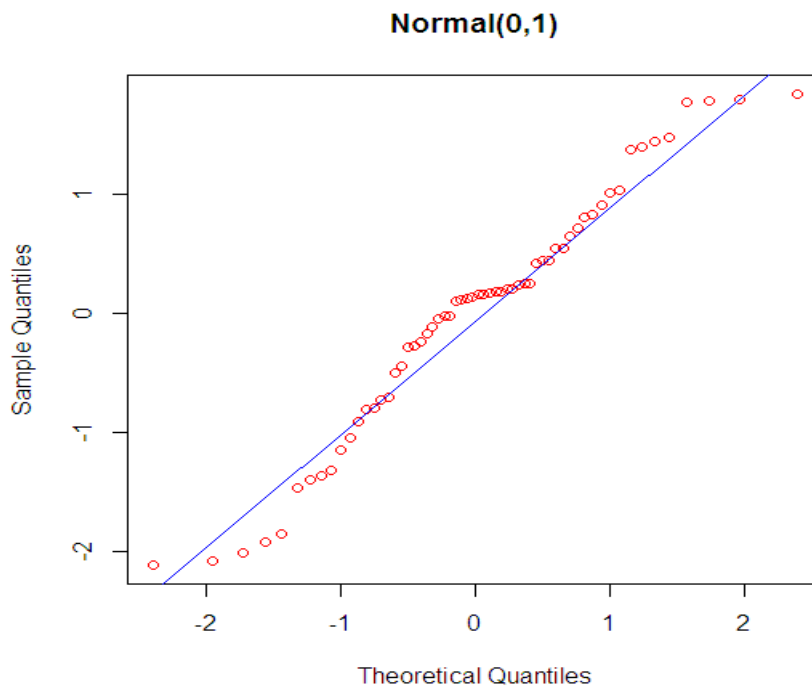


Figura 16. Prueba de normalidad de residuos.

De acuerdo a los ajuste de los datos en la gráfica mostrada en la figura 16, se puede concluir que los residuos siguen una distribución normal.

5.3.1.4. Supuesto de homocedasticidad

library (lmtest)

bptest (modelo)

Studentized Breusch-Pagan test

- Data: modelo
- BP = 0.5598, df = 1, P-value = 0.4543

Se concluye que existe homogeneidad, pues el valor P es mayor de 0.05, así que la varianza es constante a lo largo de la muestra.

5.4. Plan de muestreo

Una vez analizados los datos del estudio, se procedió al diseño de un plan de muestreo por variables para clasificar los lotes de producción y para definir los niveles de aceptación. Ya que el estudio será realizado lote por lote, el plan de muestreo por variables que mejor se adapta a esta situación es el Military Standard 414 ya que proporciona un índice que permite tomar decisiones sobre aceptación o rechazo.

5.4.1. Pasos para el diseño del plan MIL STD 414

1. Determinar el tamaño del lote

La empresa tiene como política de control de calidad inspeccionar las mezclas de pavimento producidas cada 50 m^3 , por lo que este será el tamaño de lote a considerar.

2. Especificar Nivel de Calidad Aceptable

Dada la calidad del proceso de producción y de acuerdo a las normas y especificaciones establecidas por la empresa, se maneja un NCA de 1%. De esta forma, lotes con un 1 % fuera de especificaciones tendrá una alta probabilidad de ser aceptado.

3. Nivel de inspección

Para conservar el estándar de calidad del proceso de producción, la empresa requiere de un nivel de inspección estricto, por lo que se determinó utilizar un nivel de inspección V.

4. Código para tamaño de muestra MIL STD 414

Dados:

Tamaño de lote = 50 m^3

NCA = 1%

Se encontró el código utilizando la Tabla N°16 (Anexo 11) el cuál señaló la letra G.

5. Plan bajo inspección simple

Con el uso del código para tamaño de muestra y utilizando la Tabla N°17 (Anexo 12), se obtuvo un $n = 15$. Pero como se ha explicado el proceso exige 3 edades distintas, por lo que para seleccionar el porcentaje máximo tolerado se considerará un n de tamaño 5.

Dados:

Tamaño de muestra (por edad): $n = 5$

NCA (Inspección normal) = 1%

Se encontró el Porcentaje Máximo Tolerado bajo inspección simple: $M1 = 3,32$

6. Plan bajo inspección severa

Dados:

Tamaño de muestra (por edad): $n = 5$

NCA (Inspección severa) = 1%

Se encontró el Porcentaje Máximo Tolerado bajo inspección severa: $M2 = 1,33$

7. Cálculo de variables de estudio

En este caso, se requieren calcular la media (\bar{X}) y la desviación estándar muestral (S) de la variable de calidad a medir, es decir, la resistencia de las probetas; esto para cada lote producido.

8. Cálculos de índices de aceptación

El control de calidad que utiliza la empresa considera como fracción defectiva, valores inferiores al valor mínimo de resistencia de las probetas de pavimento. Por lo tanto, sólo se determinarán los índices inferiores de aceptación para cada edad de ensayo.

Dados:

Tabla 12. Especificaciones inferiores de probetas cilíndricas por edades

	Edades		
	7	14	28
Especificación inferior (paralelepípedo)	36	45	49.5
Especificación Inferior (cilindro)	10.75	20.41	25.23

Dichos valores se obtuvieron a partir de las especificaciones inferiores establecidas por la empresa para los valores de resistencia de probetas en forma de paralelepípedo, con ayuda del modelo de regresión ajustado a los datos.

Se calcula.

$$Z_7 = \frac{\bar{X}_7 - EI_7}{S_7}$$

$$Z_{14} = \frac{\bar{X}_{14} - EI_{14}}{S_{14}}$$

$$Z_{28} = \frac{\bar{X}_{28} - EI_{28}}{S_{28}}$$

9. Porción de unidades defectuosas

Para determinar el porcentaje de producto defectuoso del lote del lado inferior, se interceptaron los valores de n , Z_7 , Z_{14} y Z_{28} en la Tabla 18 (Anexos 13), obteniendo:

Tabla 13. Fracciones defectivas por edades

	Edades		
	7	14	28
p_I	p_{I_7}	$p_{I_{14}}$	$p_{I_{28}}$

10. Criterio de aceptación

Dado que el plan bajo inspección severa indicó que el porcentaje máximo tolerado es $M2 = 1,33$, se establecen los siguientes criterios de aceptación:

Tabla 14. Criterios de tomas de decisión por edades.

	Edades		
	7	14	28
ACEPTAR SI	$p_{I_7} \leq 1,33$	$p_{I_{14}} \leq 1,33$	$p_{I_{28}} \leq 1,33$

En caso contrario se debe rechazar el lote pues no se cumplen con las especificaciones.

Para ejemplificar dichos pasos se tomaron 5 valores aleatorios de la muestra tomada anteriormente, específicamente a edad = 7.

1. Tamaño de lote $n=5$
2. $NCA=1\%$
3. Nivel de aceptación =V

4. Código = G

5. M1 = 3,32

6. M2 = 1,33

7. Datos recolectados.

Tabla 15. Valores de resistencia a 7 días tomados aleatoriamente de los datos obtenidos en el estudio previo.

	P1	P2	P3	P4	P5
Valores de Resistencia	34,0033	26,4800	29,0500	29,0500	32,4500

Se obtuvo un valor de media $\bar{X} = 30,2067$ y desviación estándar $S=3,0005$

8. Se calcula Z_7 .

$$Z_7 = \frac{\bar{X}_7 - EI_7}{S_7} = \frac{30,2067 - 10,75}{3,0005} = 6,4844$$

9. Se halla P_i en la tabla y se concluye que $P_i = 0$

10. Tomando en cuenta los criterios de aceptación se observa que $0 \leq 1,33$. Por ende se puede tomar como aceptado el lote tomado.

5.5. Propuesta de interfaz de usuario.

Una vez finalizado el estudio estadístico y diseñado el plan de muestro se propuso la implementación de una interfaz de uso sencillo. Esta con el propósito de facilitar el procesamiento de datos para los operarios, ya que ellos son los que toman las mediciones y por ende aliviarles dicho trabajo.

5.5.1. Manual de uso de la interfaz

A continuación se explicará la posible lista de pasos a seguir para la utilización de la interfaz.

The image shows a software interface titled "ENSAYO DE PAVIMENTO" (Pavement Test) on a teal background. The interface is divided into several sections with numbered steps:

- TIPO DE PAVEX**: A dropdown menu labeled "1".
- EDAD**: A dropdown menu labeled "2".
- RESISTENCIA**: A table with 5 rows and 2 columns. The first column lists resistance levels (P1, P2, P3, P4, P5) and the second column is an input field. The rows are numbered 3 through 7.
- CALCULAR**: A red button labeled "8".
- MEDIA**: An input field labeled "9".
- DESV. EST.**: An input field labeled "10".
- PI**: An input field labeled "11".
- A large empty white box labeled "12".
- LIMPIAR**: A green button labeled "13".

Figura 17. Modelo de interfaz planteada

1. Colocar en la casilla 1 el tipo de pavimento que se está ensayando, puede ser Pavex 30, Pavex 40 y Pavex 45.
2. Indicar la edad en que estará siendo ensayada la probeta en la casilla 2, esta puede ser 7, 14 o 28.
3. Luego de ser ensayadas las probetas, se colocan en las casillas 3, 4, 5, 6 y 7 los valores de resistencia obtenidos en el ensayo.
4. Hacer click en el botón calcular (8).
5. Automáticamente, el sistema arroja el valor de media y desviación estándar muestral en las casillas 9 y 10 respectivamente.
6. El sistema toma automáticamente los valores obtenidos en las casillas 9 y 10 y calcula el Pi y lo arroja en la casilla 11.
7. Una vez calculado el valor de Pi en la casilla 12 aparecerá un mensaje que diga "LOTE APROBADO" en caso de cumplir con el criterio de aceptación, en caso contrario aparecerá el mensaje "LOTE RECHAZADO".
8. Hacer click en el botón LIMPIAR (13) para reiniciar la interfaz.

5.7.2. Valores fijados para el uso de la interfaz

- El tamaño de muestra $n=15$ ($n= 5$ por edad).
- $NCA=1\%$.
- Nivel de inspección= V.
- Código para el tamaño de muestra= G.
- Porcentaje máximo tolerado por inspección severa (M2) = 1,33%.
- Valores de especificaciones inferiores para los distintos tipos de Pavex y edades.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PROPUESTA

Este capítulo presenta un sencillo análisis económico que indica el costo total de la nueva metodología de ensayo para evaluar el impacto financiero de la propuesta en comparación con la metodología actual.

6.1. Estructura de costos de la metodología actual de ensayo de probetas

A continuación, se describe la estructura de costos de la empresa, asociada a la metodología de ensayo que actualmente utiliza. Esta estructura de costos estará comprendida desde el proceso de elaboración de la mezcla hasta el desecho de las probetas posterior a los ensayos.

6.1.1. Costo de hacer mezclas para probetas

Dada la demanda q de los últimos 6 meses, pudimos estimar una demanda mensual promedio:

$$\bar{D} = \frac{\sum_1^6 D_i}{6}$$

En donde:

\bar{D} = Demanda promedio (m^3/mes)

D_i = Demanda del mes i (m^3)

$$\bar{D} = \frac{320 + 290 + 300 + 330 + 270 + 310}{6} = 303,33 \text{ m}^3/mes$$

Esta demanda promedio son pedidos que llegan a la empresa, sin embargo, como se ha mencionado antes, el 90% de las posibles ventas de pavimento se pierden por causa de la incapacidad de ensayar las probetas necesarias como requisito ineludible de control de calidad del producto. Por lo tanto, el costo de producción estará basado en el 10% de la demanda promedio, que es la cantidad de pedidos que actualmente la empresa está en capacidad de atender. Dado que la demanda promedio mensual es de 303,33 m³, se tiene que el 10% representa una cantidad de 30,33 m³/mes. El costo de producción de 1 m³ de mezcla de pavimento Pavex 45 es de 66.400 Bs./m³. Por lo tanto:

$$CPM = 0,1\bar{D} \times CP$$

en donde:

CPM = Costo de producción de mezclas (Bs./mes)

\bar{D} = Demanda promedio (m³/mes)

CP = Costo de producción de 1 m³ de mezcla (Bs./m³)

$$CPM = 30,33 \text{ m}^3/\text{mes} \times 66.400 \text{ Bs./m}^3 = 2.013.912 \text{ Bs./mes}$$

6.1.2. Costo de horas-hombre para ensayo de probetas

La cantidad de trabajadores asignados al ensayo de probetas es de 9. Estos trabajadores por contrato obtienen un beneficio mensual de 27.091 Bs/trabajador-mes más el ticket de alimentación correspondiente a 63.720 Bs/trabajador-mes. Así que el costo fijo de ensayo de probetas por concepto de mano de obra hasta el mes de noviembre de 2016 es de:

$$CMOD = \#Trabajadores \times S$$

En donde:

CMOD = Costo de mano de obra directa (Bs./mes)

S = Beneficio mensual percibido por el trabajador (salario + bono de alimentación)

$$\text{CMOD} = 9 \text{ trabajadores} \times (27.091 + 63.720 \text{ Bs.}) \text{ Bs./trabajador-mes}$$

$$\text{CMOD} = 817.299 \text{ Bs./mes}$$

6.1.3. Costos en los que incurre la empresa por trabajadores lesionados

Como se ha mencionado a lo largo de este trabajo, el principal problema de la empresa es la cantidad de trabajadores lesionados por el uso de la metodología actual de ensayo, además, el riesgo de lesión que tienen los trabajadores que aún no sufren lesiones importantes.

El sueldo de estos trabajadores ya fue considerado como un costo fijo en el punto 6.1.2. Por lo tanto, se tomará en consideración exclusivamente los costos asociados a las lesiones de los trabajadores. Para esto, la empresa incurre en costos de tratamientos fisioterapéuticos y compensaciones laborales por efecto de agravios a su integridad personal por un total de 59.000 Bs. /trabajador-mes.

$$CL = CLT \times \# \text{Trabajadores lesionados}$$

En donde:

CL = Costos en los que incurre la empresa por lesiones de los trabajadores. (Bs./mes)

CLT = Costo mensual por trabajador lesionado (Bs./trabajador-mes)

$$CL = 59.000 \text{ Bs. /trabajador-mes} \times 6 \text{ trabajadores} = 354.000 \text{ Bs./mes}$$

6.1.4. Costo de desecho de desperdicios de las probetas de pavimento

La empresa no tiene un proceso definido de desecho de los desperdicios que genera el ensayo de probetas. Para esto, requiere de la contratación de un ente

externo, este se encarga de recoger los desechos de todas las áreas de producción y operaciones de INVECEM S.A. Dicha empresa tiene una tarifa establecida de 125.0000 Bs./flete. Estos fletes son realizados en camiones de volteo con capacidad máxima 7 m³. Por lo tanto, se puede considerar que la tarifa aproximada por metro cúbico es de 17.857 Bs./m³. Se sabe que por cada 50 m³ de pavimento producido se tiene una cantidad de 272 litros de desperdicio por criterio de toma de probetas. Lo que se significa:

$$CD = T \times DM$$

En donde:

CD = Costo de desechos de desperdicios de las probetas por mezcla (Bs.)

T = Tarifa de recolección de desperdicio (Bs./m³)

DM = Desperdicio por mezcla por concepto de ensayo de probetas (m³)

$$CD = 17.857 \frac{Bs.}{m^3} \times 0,272m^3 = 4.857,104 Bs.$$

Como se mencionó anteriormente, con la implementación de la nueva propuesta, la cantidad de desperdicios por mezcla disminuiría a 178 litros. Entonces se tendrá que:

$$CD = 17.857 \frac{Bs.}{m^3} \times 0,178m^3 = 3.178,546 Bs.$$

Lo que representa una reducción del casi 35% en los costos de recolección de desperdicios.

6.1.5. Costo total mensual de la metodología actual de ensayo de probetas

La sumatoria de todos los costos en los que incurre la empresa por concepto de realización de ensayos de probetas de pavimento Pavex tipo 45, siguiendo la metodología de ensayo actual es:

$$CMA = CPM + CMOD + CL + CDM$$

En donde:

CMA = Costo total mensual de la metodología actual de ensayo (Bs./mes)

CPM = Costo de producción de mezclas (Bs./mes)

CMOD = Costo de mano de obra directa (Bs./mes)

CL = Costos en los que incurre la empresa por lesiones de los trabajadores (Bs./mes)

CDM = Costo mensual de desechos de desperdicios de las probetas (Bs./mes)

$$CMA = (2.013.912 + 817.299 + 354.000 + 4.857,104) \text{ Bs./mes} =$$

$$CMA = 3.190.068,104 \text{ Bs./mes}$$

6.2. Costo del estudio de laboratorio

Como se explicó anteriormente, el modelo de regresión requiere un mínimo de 20 datos, por lo que el estudio se llevó a cabo con 20 mezclas preparadas especialmente para realizar probetas en el laboratorio; de cada mezcla se usó una cantidad de 173 litros, lo que representa 3,46 m³ de mezcla marca Pavex tipo 45. Por lo tanto, el costo de realización de las probetas fue de:

$$CE = CP \times ML$$

En donde:

CE = Costo de producción de mezclas para el estudio de laboratorio (Bs.)

CP = Costo de producción de 1 m³ de mezcla (Bs./m³)

ML = Mezcla utilizada durante el estudio (m³)

$$CE = 66.400 \text{ Bs./m}^3 \times 3,46 \text{ m}^3 = 229.744 \text{ Bs.}$$

Además, se requirió del diseño y adaptación de un dispositivo que pudiese sostener los cilindros de manera horizontal para poder ejecutar el ensayo a través del

método de tracción indirecta. El costo de este dispositivo fue de 67.200 Bs. La mano de obra fue un trabajo en equipo entre los trabajadores del laboratorio y los autores de este trabajo. (Ver material fotográfico en el ANEXO 10)

Por lo tanto, el costo total del estudio de laboratorio fue de:

$$CTL = CE + CDTI$$

En donde:

CTL = costo total del estudio de laboratorio

CE = Costo de producción de mezclas para el estudio de laboratorio (Bs.)

CDTI = Costo del dispositivo de tracción indirecta (Bs.)

$$CTL = 229.744 \text{ Bs.} + 67.200 \text{ Bs.} = 296.944 \text{ Bs.}$$

6.3. Inversión total para la realización del estudio

El tiempo total de duración de este estudio fue de 11 semanas; por lo tanto, se obtuvo la inversión total sumando el costo correspondiente a la producción de mezclas para probetas durante las 11 semanas y el costo total de elaboración del estudio en el laboratorio, obteniendo:

$$IT = CMA \times te + CTL$$

En donde:

IT = Inversión total (Bs.)

CMA = Costo total mensual de la metodología actual de ensayo (Bs./mes)

te = tiempo total del estudio (meses)

CTL = costo total del estudio de laboratorio(Bs.)

$$IT = 3.190.068,104 \text{ Bs./mes.} \times (2,75\text{meses}) + 296.944 \text{ Bs.} = 9.069.631,286 \text{ Bs.}$$

6.4. Retorno de la inversión

Este estudio propone una metodología nueva de ensayo que permita que todos los trabajadores del laboratorio puedan realizar los controles de calidad necesarios a todas las mezclas que sean demandadas a la empresa. Por lo tanto, INVECEM S.A. pasará de atender únicamente el 10% de los pedidos, a estar en la capacidad de atender el 100% de los pedidos mensuales, correspondientes a la anteriormente llamada demanda mensual de 303,33 m³/mes. Las ventas adicionales que la empresa podrá realizar gracias a la adopción de la nueva metodología de ensayo serán de 90%(303,33 m³/mes). Ya que el precio de venta del pavimento Pavex tipo 45 es de 94.857 Bs. /m³ + IVA (12%) = 106.239,84Bs./m³. Se obtiene el beneficio adicional como sigue:

$$BA = 0,9\bar{D} \times Pv$$

En donde:

BA = Beneficio adicional (Bs./mes)

\bar{D} = Demanda promedio (m³/mes)

Pv = precio de venta del Pavex 45 (Bs./m³)

$$BA = 272,997 \text{ m}^3/\text{mes} \times 106.239,84 \text{ Bs./m}^3 = 29.003.157,6 \text{ Bs./mes}$$

Una vez calculado el beneficio adicional y la inversión total requerida, se calculó el tiempo de retorno de la inversión con el fin para evaluar la rentabilidad del mismo.

$$T.R.I = \frac{\text{Inversión total requerida}}{\text{Beneficio adicional}} = \frac{9.069.631,286 \text{ Bs.}}{29.003.157,6 \text{ Bs./mes}} = 0,3127 \text{ meses}$$

CONCLUSIONES

Este trabajo significó un gran aporte para la empresa INVECEM S.A. ya que se lograron solucionar varios de los problemas que no se hallaba solución gracias a un esfuerzo combinado entre el Departamento de Control de Calidad de la empresa, los autores de este trabajo y el tutor del mismo. Entre las conclusiones se exponen las siguientes:

- Se pudo diseñar un Plan de Muestreo en donde se determinó que el tamaño de muestra es igual a 15 (5 por edad) dado un NCA del 1% y del nivel más riguroso de inspección (V)
- La ecuación obtenida mediante el ajuste de regresión lineal ($Y = 0,93208X + 25,97609$) permitió determinar las especificaciones inferiores que serán usadas como criterios de aceptación o rechazo de mezclas.
- Se propuso una nueva metodología de ensayo que generó el descarte definitivo del uso de probetas en forma de paralelepípedo. Además, el material desperdiciado disminuyó en un 35%.
- La adaptación de la nueva metodología de ensayo significará el pleno cumplimiento de lo expuesto en la norma técnica para el control en la manipulación, levantamiento, y traslado manual de carga. Esto se debe a que el peso promedio de las probetas cilíndricas fue de 12,51kg; además, el dispositivo de adaptación tiene un peso de 7,2kg. De esta manera, el peso combinado de las probetas y el dispositivo no supera la carga máxima aceptada en la norma (20kg).
- Se demostró la rentabilidad del cambio de metodología haciendo énfasis en el beneficio económico, pues al estar en capacidad de satisfacer el 100% de su demanda mensual de pavimento, percibirá un incremento en su beneficio mensual del 900%.

RECOMENDACIONES

Luego de haber llevado a cabo el estudio y planteado el cambio de metodología, a continuación se presenta una serie de recomendaciones a la empresa INVECEM S.A.

- Adoptar el cambio de metodología de ensayo de probetas de pavimento propuesto en este estudio, pues este le brindará tanto mejoras en las condiciones de trabajo de sus empleados como beneficios económicos a la empresa.
- Establecer periódicamente charlas de seguridad laboral tanto a los trabajadores como a los supervisores y gerentes, reforzando las normas técnicas de manipulación de cargas.
- Implementar el uso de la interfaz de usuario propuesta en este trabajo, ya que facilitará de gran manera a los trabajadores y supervisores del área de laboratorio, la aplicación del plan de muestreo presentado en el capítulo V. De igual manera, se les invita a mejorar la interfaz tomando en cuenta la opinión de los trabajadores, pues estos indicarán mejoras a realizar para que su uso sea más fácil y efectivo.
- Realizar jornadas de diagnóstico de salud a los trabajadores para prevenir futuras lesiones producto de su labor diaria.
- Aplicar el mismo estudio para los distintos tipos de Pavex para lograr cambiar definitivamente el método de ensayo.
- Con el cumplimiento de los objetivos planteados y la plena satisfacción de la empresa con este Trabajo Especial de Grado, se anima a futuros ingenieros industriales en formación a tomar este estudio como base para futuros proyectos que beneficien el aparato de producción venezolano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Besterfield, D., (2009). Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. 2da edición, Pearson education, México.
- Burgos, F., (2014). Control de calidad. 8va edición. Universidad de Carabobo: Dirección de Medios y Publicaciones.
- Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2009) Control estadístico de calidad y seis sigma. 2da edición, Mc Graw Hill, México.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista P., (1997). Metodología de la investigación. Mc Graw Hill, México.
- INPSASEL, Anteproyecto de Norma Técnica para Control en la Manipulación, Levantamiento y Traslado de Cargas. (2009). Caracas.
- Maneiro, N. y Mejías, A., (2010). Estadística para Ingeniería, una herramienta para la gestión de la calidad, Universidad de Carabobo: Dirección de Medios y Publicaciones, Carabobo.
- Maygua, A. (2016). Resistencia de Materiales y Ensayos. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña. http://www.academia.edu/5609357/TRACCION_INDIRECTA.
- Montgomery, D., (1996). Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. 2da edición, Mc Graw Hill, México.
- Norma técnica guatemalteca. Método de ensayo. Determinación de manual de La Resistencia a tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto. ASTM C496-04 COGUANOR.
- Norma técnica para el control en la manipulación, levantamiento, y traslado manual de carga (2016, 24 de agosto). Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 40.973, agosto 24, 2016.
- Norma venezolana COVENIN 2248-87 (1987). Manejo de materiales y equipos. Medidas generales de seguridad. Caracas.

- Norma venezolana COVENIN 3549-1999 (1999) Tecnología del concreto. manual de elementos de estadística y diseño de experimentos. Caracas.
- Norma venezolana COVENIN 340-79 (1979) Método para la elaboración y curado en el laboratorio de probetas de concreto para ensayos de flexión. Caracas.
- Norma venezolana COVENIN 341-79 (1979) Método de ensayo para determinar la resistencia a la tracción indirecta del concreto usando probetas cilíndricas. Caracas.
- Norma venezolana COVENIN 343 (R) (2002) Concreto. Determinación de la resistencia a la flexión en vigas simplemente apoyadas carga en el centro del tramo. Caracas.
- Norma venezolana COVENIN 354-01 (2001) Concreto, método para mezclado en el laboratorio. Caracas.
- Rodríguez y Yépes, (2011). Técnicas de muestreo aplicadas a la Ingeniería Industrial, Trabajo Especial de Grado, Universidad de Carabobo.
- Sandoval, (2010). Implementación de un plan de muestreo para establecer parámetros y criterios de aceptación en la elaboración de esponjas de poliuretano, Trabajo Especial de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Torres y Berlis, (2013). en su trabajo especial de grado, como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Industrial de la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (UNEXPO), titulado: Diseño e implementación de un Plan de Muestreo de la materia prima en el complejo siderúrgico nacional (Planta Casima), Trabajo Especial de Grado, Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (UNEXPO).

ANEXOS

ANEXO 1

Información técnica sobre la máquina de ensayo a compresión usada

Corporación de Ingeniería y Calibración



Av. Mariano Montilla Entre Av de la Coa Mil y Av
Jorge Washington Quinta San Jose, San Bernardino
Caracas Venezuela
Telefonos: 0054(212) 5526234, 5529710
0414-3079756

Republica Bolivariana de Venezuela

LABORATORIO DE CALIBRACION
J-31228339-4



CIC, S.A.
FUERZA
C-LC-F
Página
1 de 5

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

FLC-25 Ed. 10
Calibration Certificate

Certificado No: **C-LC-F-03-2016-2226**
Solicitante: **INDUSTRIA VENEZOLANA DE CEMENTO (INVECEM) S.A.**
Customer
Dirección: **Zona Industrial Municipal Norte, Valencia, CAT**
Address
Edo. Carabobo
País: **VENEZUELA**

DATOS DEL OBJETO

Object Information

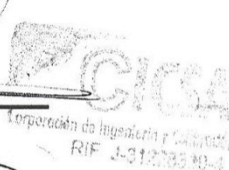
Objeto de Prueba: **Maquina de Ensayo a Compresion**
Object
Fabricante: **ELE**
Manufacturer
Modelo: **1797 D 0001** Rango: **1 500,0 kN**
Model
Numero de Serie: **1797 5 1025** Código Interno: **LOP-001**
Serial Number
Fecha de Calibración: **2016-03-16**
Date of Calibration
Fecha de Emisión: **2016-03-25**
Date of Calibration

Corporación de Ingeniería
Y Calibración CIC.S.A
Tels: 0414-3079756 / 0212-5526234
Sistema de Calidad ISO 17025

Firma(s) Autorizada(s).

Authorized signatory/ies

Ing. Marco A. Arce
Dirección Técnica y de Calidad



TSU Franck Briceño
Responsable de Calibración

El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados. The Laboratory that issues this certificate have not responsibility for damages derived for the bad use of the calibrated instruments. La reproducción del documento debe ser integral y debe estar amparado por la autorización escrita de CIC, S.A. Valido solo en original. This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the written permission of CIC, S.A. Valid in original only. Este documento de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales e internaciones que realizan las unidades de medición de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades (SI).

Figura 18. Ficha técnica sobre la máquina de ensayo a compresión usada.

ANEXO 2

Información técnica sobre la máquina de ensayo a flexión usada

Corporación de Ingeniería y Calibración



Av. Mariano Montilla Entre Av de la Cota Mil y Av
Jorge Washington Quinta San Jose, San Bernardino
Caracas Venezuela
Teléfonos: 0058(212) 5526234, 5529710
0414-3079756

Republica Bolivariana de Venezuela

LABORATORIO DE CALIBRACION
J-31226339-4



CIC, S.A.
FUERZA
C-LC-F
Página
1 de 5

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

FLC-25 Ed. 10

Calibration Certificate

Certificado No

C-LC-F-03-2016-2224

Solicitante:

INDUSTRIA VENEZOLANA DE CEMENTO (INVECEM) S.A.

Customer

Dirección:

Zona Industrial Municipal Norte, Valencia, CAT

Address

Edo. Carabobo

País:

VENEZUELA

DATOS DEL OBJETO

Object Information

Objeto de Prueba:

Maquina de Ensayo a Compresion (Ensayo a Flexion)

Object

Fabricante:

ELE

Manufacturer

Modelo:

1638 D 0001

Rango:

100,00 kN

Model

Numero de Serie:

1638 6 1154

Código Interno:

Serial Number

Fecha de Calibración:

2016-03-16

Corporación de Ingeniería
Y Calibración CICS.A

Tel: 0414 3079756 / 0212-5526234
Sistema de Calidad ISO 17025

Date of Calibration

aaaa-mm-dd

Fecha de Emisión:

2016-03-25

Date of Calibration

aaaa-mm-dd

Firma(s) Autorizada(s).

Authorized signature(s)

Ing. Marco A. Arce
Dirección Técnica de Calidad

Corporación de Ingeniería y Calibración CICS.A
RIF J-31226339-4

TSU Franck Briceño
Responsable de Calibración

El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados. The Laboratory that issues this certificate have not responsibility for damages derived for the bad use of the calibrated instruments. La reproducción del documento debe ser integral y debe estar amparado por la autorización escrita de CIC, S.A. Valido solo en original. This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the written permission of CIC, S.A. Valid in original only. Este documento de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales e internacionales que realizan las unidades de medición de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades (SI).

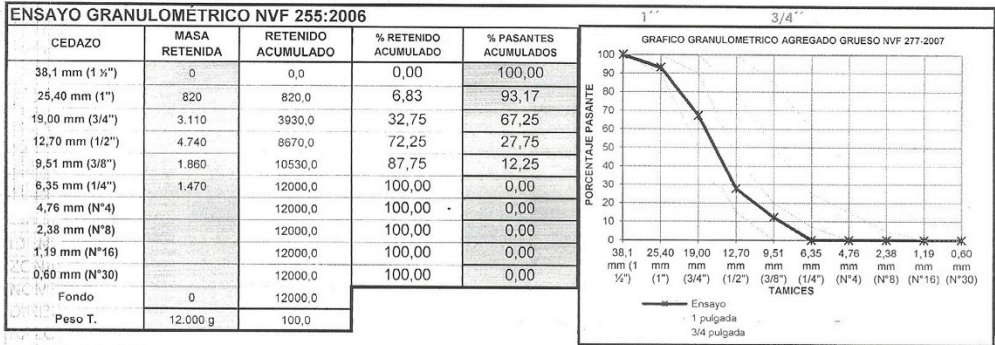
Figura 19. Ficha técnica sobre la máquina de ensayo a flexión usada.

ANEXO 3

Ficha técnica sobre la grava utilizada en el estudio

	GERENCIA CORPORATIVA DE CONCRETOS Y AGREGADOS GERENCIA DE CALIDAD Y AMBIENTE - CSC	CÓDIGO: CSC-GCA-PR002 Rev. 00 EMISIÓN: 05/01/2016 Página 1/1
	FICHA TÉCNICA DE AGREGADOS GRUESOS N°0 Y N° 1	

IDENTIFICACIÓN DEL AGREGADO	UTILIDAD DEL REPORTE: <input type="checkbox"/> APROBACIÓN <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> SEGUIMIENTO
ZONA:	LABORATORIO: Magdaleno FECHA: 03/10/2016
NOMBRE DE CANTERA / ARENERA:	Magdaleno
DIRECCIÓN DE CANTERA / ARENERA:	Aragua - Magdaleno
RAZÓN SOCIAL DEL PROVEEDOR / TRANSPORTE:	Invecem Magdaleno



ANÁLISIS REALIZADOS	Según la NORMA	Resultados	COVENIN 277-2007
Tamaño Máximo		1 1/2"	
Material pasante #200	COVENIN 258-1977	0,87 [%]	máx. 1,00 [%]*
Absorción	COVENIN 269-1998	0,71 [%]	máx. 1,00 [%]
Partículas planas y largas	FONDONORMA 264-2007	9 [%]	máx. 25,00 [%]
Desgaste	COVENIN 266-1977 Y 267-1978	30 [%]	máx. 40,00 [%]
Partículas blandas	FONDONORMA 265-2006	[%]	máx. 5,00 [%]
Densidad	COVENIN 268-1998	2,707 [Kg/l]	
Masa unitaria suelta	COVENIN 263-1978	1507 [g/cm³]	
Masa unitaria compacta	COVENIN 263-1978	1647 [g/cm³]	
Partículas desmenuzables	COVENIN 257-1978	0,0003 [%]	máx. 0,25 [%]
Carbón y Lignito	COVENIN 260-1978	[%]	máx. 1,00 [%]
Disgregabilidad en Na2SO4	COVENIN 271-1978	[%]	máx. 12,00 [%]
Disgregabilidad en MgSO4	COVENIN 271-1978	[%]	máx. 18,00 [%]
Reactividad Potencial	COVENIN 262-2005 y 276-1978	[%]	máx. 0,05 [%]

* Si el agregado proviene de filtración máx. 1,5%

Observaciones

Realizado por: Roberto Lira
 Revisado por: Gustavo Vargas


Corporación Socialista del Cemento S.A. - Gerencia de Calidad y Ambiente - DERECHOS RESERVADOS
 Los resultados presentados son una referencia del comportamiento que presenta el producto, en ningún caso debe considerarse como comportamiento constante.



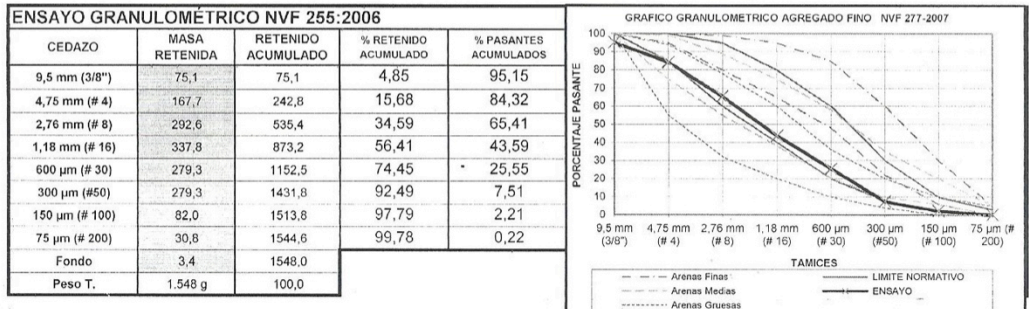
Figura 20. Ficha técnica sobre la grava utilizada en el estudio.

ANEXO 4

Ficha técnica sobre la arena utilizada en el estudio

	GERENCIA CORPORATIVA DE CONCRETOS Y AGREGADOS GERENCIA DE CALIDAD Y AMBIENTE - CSC	CÓDIGO: CSC-GCA-PR001 Rev. 00 EMISIÓN: 05/01/2016 Página 1/1
	FICHA TÉCNICA DE AGREGADOS FINOS	

IDENTIFICACIÓN DEL AGREGADO	UTILIDAD DEL REPORTE: <input type="checkbox"/>	APROBACIÓN <input type="checkbox"/>	SEGUIMIENTO <input checked="" type="checkbox"/>
ZONA:	LABORATORIO:	CAT (Zona Centro)	FECHA: 03/10/2016
NOMBRE DE CANTERA / ARENERA: TINAQUILLO			
DIRECCIÓN DE CANTERA / ARENERA: TINAQUILLO COJEDES			
RAZON SOCIAL DEL PROVEEDOR / TRANSPORTE: MATERIALES DEL CENTRO			



ANÁLISIS REALIZADOS	Según la NORMA	Resultados	COVENIN 277-2007
Material pasante #200	COVENIN 258-1977	1,92 [%]	máx. 5,00 [%]*
Módulo de finura	FONDONORMA 255-2006	3,76 [%]	2,50 - 3,50 [%]**
Impurezas orgánicas	COVENIN 256-1977	1 Pat. Gardner	Nº 1 - Nº 3 Gardner
Absorción	COVENIN 268-1998	1,62 [%]	máx. 1,00 [%]
Cloruros	FONDONORMA 3881	0,01 [%]	máx. 0,10 [%]
Sulfatos	FONDONORMA 3881	0,01 [%]	máx. 1,00 [%]
Densidad	COVENIN 268-1998	2,627 [kg/l]	
Masa unitaria suelta	COVENIN 263-1978	1618 [g/cm ³]	
Masa unitaria compacta	COVENIN 263-1978	1777 [g/cm ³]	
Partículas desmenuzables	COVENIN 257-1978	0,0003 [%]	máx. 1,00 [%]
Carbón y Lignito	COVENIN 260-1978	[%]	máx. 1,00 [%]
Disgregabilidad en Na ₂ SO ₄	COVENIN 271-1978	[%]	máx. 10,00 [%]
Disgregabilidad en MgSO ₄	COVENIN 271-1978	[%]	máx. 15,00 [%]
Reactividad potencial	COVENIN 262-2005 y 276-1978	[%]	máx. 0,05 [%]

* máx. 15% para arenas de trituración libres de arcilla y esquistos ** Rango aceptable

Observaciones

Realizado por: <u>Manuel Escobar</u>
Revisado por: <u>Gustavo Vargas</u>

Corporación Socialista del Cemento S.A. - Gerencia de Calidad y Ambiente - DERECHOS RESERVADOS.
 Los resultados presentados son una referencia del comportamiento que presenta el producto, en ningún caso debe considerarse como comportamiento constante.



Figura 21. Ficha técnica sobre la arena utilizada en el estudio.

ANEXO 5

Ficha técnica de especificación del cemento utilizado en el estudio

CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

CEMENTO PÓRTLAND TIPO 1

Planta San Sebastián

ANÁLISIS QUÍMICO

ANÁLISIS FÍSICO

COMPONENTE	UNIDAD	VALORES	REQUISITOS COVENIN 28	ENSAYO	UNIDAD	VALORES	REQUISITOS COVENIN 28
P.F.	%	4.82	5.5 Máx.	SUP. ESP. BLAINE	cm ² /g	3671	2600 Min
SiO ₂	%	18.95	N/R	Retenido 45 (Micrones)	%	9.4	N/R
Al ₂ O ₃	%	4.88	N/R	Retenido 75 (Micrones)	%	0.2	N/R
Fe ₂ O ₃	%	2.89	N/R	Consistencia Normal	%	22.7	N/R
CaO	%	62.26	N/R	Fraguado Inicial (Vicat)	minuto	119	45 Min
MgO	%	1.04	6.0 Máx.	Fraguado Final (Vicat)	min	214	480 Máx
SO ₃	%	2.21	3.5 Máx.	Expansión (Autoclave)	%	0.06	0.60 Máx
K ₂ O	%	0.52	N/R	RESIST. COMPRESIÓN			
Na ₂ O	%	0.13	N/R	Resistencia 1 Día	MPa	11.3	N/R
R.I.	%	0.45	1.5 Máx.	Resistencia 3 Días	MPa	21.2	10 Min
CaO Libre	%	1.06	N/R	Resistencia 7 Días	MPa	27.1	17 Min
Alcalis Eq.	%	0.47	N/R	Resistencia 28 Días	MPa		28 Min

COMPOSICIÓN POTENCIAL

COMPONENTE	UNIDAD	VALORES	REQUISITOS
C ₃ S	%	61.82	N/R
C ₂ S	%	7.69	N/R
C ₃ A	%	8.04	N/R
C ₄ AF	%	8.79	N/R

N/R: No Requerimiento

COMENTARIOS:

EL PRESENTE CERTIFICADO CORRESPONDE AL PROMEDIO DE ANALISIS DE LAS PRODUCCIONES

DESDE: 26-09-2016 HASTA: 09-10-2016

Planta San Sebastián
Departamento Control de Calidad
Industria Venezolana de Cemento
(INVECEM) S.A.


JEFE CONTROL DE CALIDAD
Planta San Sebastián

CC-FO-020,REV-09

Figura 22. Ficha técnica sobre el cemento utilizado en el estudio.

ANEXO 6

Cálculo del espesor de las láminas de acero

- Densidad del Acero 1018, $\rho = 7,875 \text{ g/cm}^3$
- Peso promedio de las probetas cilíndricas $12,5174 \text{ kg} \cong 12,52 \text{ kg}$

Ya que por norma técnica la carga máxima que puede levantar un trabajador son 20 kg, el peso del dispositivo debe ser de $20 \text{ kg} - 12,52 \text{ kg} = 7,48 \text{ kg}$.

$$\rho = \frac{\text{Peso del dispositivo}}{\text{Volúmen del dispositivo}}$$

- $\text{Volúmen del dispositivo} = (\text{Área pieza A} + 2 \text{ Área pieza B} + \text{Área pieza C}) \times \text{Espesor}$

- Área pieza A:

$$2[(19,3 \text{ cm} \cdot 7 \text{ cm} - 5,2 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm}) + (3,2 \text{ cm} \cdot 5,2 \text{ cm} - 1,2 \text{ cm} \cdot 2,2 \text{ cm}) + (3,2 \text{ cm} \cdot 4,3 \text{ cm} - 1,2X)] + [7 \text{ cm} \cdot 32 \text{ cm} + 2(1,2X)] = 539,32 \text{ cm}^2$$

- Área pieza B:

$$2(38 \text{ cm} \cdot 5 \text{ cm}) = 380 \text{ cm}^2$$

- Área pieza C:

$$[7 \text{ cm} \cdot 32 \text{ cm} + 2(1,2X)] = 224 \text{ cm}^2 + 2,4X$$

Finalmente armamos la ecuación:

$$7,875 \text{ g/cm}^3 = \frac{7480 \text{ g}}{(539,32 \text{ cm}^2 + 380 \text{ cm}^2 + 224 \text{ cm}^2 + 2,4X) \cdot X}$$

$$7,875 \text{ g/cm}^3 = \frac{7480 \text{ g}}{1143,32X + 2,4X^2}$$

$$X_1 = -477,21 \text{ (escartado)}, \quad X_2 = 0,829 \cong 0,8 \text{ cm (espesor de la lámina)}$$

ANEXO 7

Fotos reales del dispositivo de ajuste



Figura 23. Vista de planta del dispositivo real armado.



Figura 24. Vista frontal del dispositivo real armado.

ANEXO 8

Foto de vigas en forma de paralelepípedo recién tomadas



Figura 25. Foto de vigas de pavimento en forma de paralelepípedo recién tomadas.

ANEXO 9

Foto de vigas en forma de paralelepípedo siendo compactadas



Figura 26. Foto de vigas de pavimento en forma de paralelepípedo siendo compactadas.

ANEXO 10

Material fotográfico del proceso de elaboración de vigas



Figura 27. Foto de probeta cilíndrica siendo compactada



Figura 28. Foto de probeta cilíndrica siendo desencofrada.



Figura 29. Foto del proceso de pesado de vigas cilíndricas.



Figura 30. Foto del proceso de llenado de probeta en forma de paralelepípedo.

ANEXO 11

Tabla para la obtención del código para el tamaño de muestra para el MIL STD

414.

Tabla 16. Tabla para la obtención del código para el tamaño de muestra

TABLA 12.16 Letras códigos para el tamaño de muestra para MIL STD 414 (muestreo para variables).

TAMAÑO DEL LOTE	NIVELES DE INSPECCIÓN				
	I	II	III	IV	V
3 a 8	B	B	B	B	C
9 a 15	B	B	B	B	D
16 a 25	B	B	B	C	E
26 a 40	B	B	B	D	F
41 a 65	B	B	C	E	G
66 a 110	B	B	D	F	H
111 a 180	B	C	E	G	I
181 a 300	B	D	F	H	J
301 a 500	C	E	G	I	K
501 a 800	D	F	H	J	L
801 a 1300	E	G	I	K	L
1301 a 3200	F	H	J	L	M
3201 a 8000	G	I	L	M	N
8001 a 22000	H	J	M	N	O
22001 a 110000	I	K	N	O	P
110001 a 550000	I	K	O	P	Q
550001 y más	I	K	P	Q	Q

Fuente. Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2009) "Control estadístico de calidad y seis sigma. 2da edición", Mc Graw Hill, México. Pág. 360

ANEXO 12

**Tabla para la obtención del valor M de inspección normal y severa del método
MIL STD 414.**

Tabla 17. Tabla para la obtención del valor M de inspección normal y severa del método MIL STD 414.

TABLA 12.17 Tabla para inspección normal y severa (variabilidad desconocida, método de la desviación estándar), método M.

LETRA CÓDIGO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA	TAMAÑO DE LA MUESTRA	NIVEL DE CALIDAD ACEPTABLE: NCA O AQL (INSPECCIÓN NORMAL)													
		0.04	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.0	15.0
		M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
B	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	7.59	18.86	26.94	33.69	40.47
C	4	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	1.53	5.50	10.92	16.45	22.86	29.45	36.90
D	5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	1.33	3.32	5.83	9.80	14.39	20.19	26.56	33.99
E	7	↓	↓	↓	↓	0.422	1.06	2.14	3.55	5.35	8.40	12.20	17.35	23.29	30.50
F	10	↓	↓	↓	0.349	0.716	1.30	2.17	3.26	4.77	7.29	10.54	15.17	20.74	27.57
G	15	0.099	0.099	0.312	0.503	0.818	1.31	2.11	3.05	4.31	6.56	9.46	13.71	18.94	25.61
H	20	0.135	0.135	0.365	0.544	0.846	1.29	2.05	2.95	4.09	6.17	8.92	12.99	18.03	24.53
I	25	0.155	0.156	0.380	0.551	0.877	1.29	2.00	2.86	3.97	5.97	8.63	12.57	17.51	23.97
J	30	0.179	0.179	0.413	0.581	0.879	1.29	1.98	2.83	3.91	5.86	8.47	12.36	17.24	23.58
K	35	0.170	0.170	0.388	0.535	0.847	1.23	1.87	2.68	3.70	5.57	8.10	11.87	16.65	22.91
L	40	0.179	0.179	0.401	0.566	0.873	1.26	1.88	2.71	3.72	5.58	8.09	11.85	16.61	22.86
M	50	0.163	0.163	0.363	0.503	0.789	1.17	1.71	2.49	3.45	5.20	7.61	11.23	15.87	22.00
N	75	1.147	0.147	0.330	0.467	0.720	1.07	1.60	2.29	3.20	4.87	7.15	10.63	15.13	21.11
O	100	0.145	0.145	0.317	0.447	0.689	1.02	1.53	2.20	3.07	4.69	6.91	10.32	14.75	20.66
P	150	0.134	0.134	0.293	0.413	0.638	0.949	1.43	2.05	2.89	4.43	6.57	9.88	14.20	20.02
Q	200	0.135	0.135	0.294	0.414	0.637	0.945	1.42	2.04	2.87	4.40	6.53	9.81	14.12	19.92
		.065	0.10	.15	.25	.40	.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00	15.00	

Niveles de calidad aceptable: NCA o AQL (inspección severa)

Fuente. Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2009) "Control estadístico de calidad y seis sigma. 2da edición", Mc Graw Hill, México. Pág.361

ANEXO 13

**Tabla para la obtención del valor M de inspección normal y severa del método
MIL STD 414.**

Tabla 18. Tabla para la obtención la fracción defectuosa (P_i) del método MIL STD 414.

TABLA 12.18 Tabla para estimar el porcentaje de defectuosos en el lote (p_i o p_j) para Z_{EI} o Z_{ES} usando el método de la desviación estándar.

Z_{EI} o Z_{ES}	TAMAÑO DE LA MUESTRA															
	3	4	5	7	10	15	20	25	30	35	40	50	75	100	150	200
0	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
0.1	47.24	46.67	46.44	46.26	46.16	46.10	46.08	46.06	46.06	46.05	46.04	46.04	46.03	46.03	46.02	46.02
0.3	41.63	40.00	39.37	38.87	38.60	38.44	38.37	38.33	38.31	38.29	38.28	38.27	38.25	38.24	38.22	38.22
0.35	40.20	38.33	37.62	37.06	36.75	36.57	36.49	36.45	36.43	36.41	36.40	36.38	36.36	36.35	36.33	36.33
0.45	37.26	35.00	34.16	33.49	33.23	32.92	32.84	32.79	32.76	32.74	32.73	32.72	32.68	32.67	32.66	32.65
0.50	35.75	33.33	32.44	31.74	31.37	31.15	31.06	31.01	30.98	30.96	30.95	30.93	30.90	30.89	30.87	30.87
0.55	34.20	31.67	30.74	30.01	29.64	29.41	29.32	29.27	29.24	29.22	29.21	29.19	29.16	29.15	29.14	29.13
0.60	32.61	30.00	29.05	28.32	27.94	27.72	27.63	27.58	27.55	27.53	27.52	27.50	27.47	27.46	27.45	27.44
0.70	29.27	26.67	25.74	25.03	24.67	24.46	24.38	24.33	24.31	24.29	24.28	24.26	24.24	24.23	24.21	24.21
0.75	27.50	25.00	24.11	23.44	23.10	22.90	22.83	22.79	22.76	22.75	22.73	22.72	22.70	22.69	22.68	22.67
0.80	25.64	23.33	22.51	21.88	21.57	21.40	21.33	21.29	21.27	21.26	21.25	21.23	21.22	21.21	21.20	21.20
0.85	23.67	21.67	20.93	20.37	20.10	19.94	19.89	19.86	19.84	19.82	19.82	19.80	19.79	19.78	19.78	19.77
0.90	21.55	20.00	19.38	18.90	18.67	18.54	18.50	18.47	18.46	18.45	18.44	18.43	18.42	18.42	18.41	18.41
0.95	19.25	18.33	17.86	17.48	17.29	17.20	17.17	17.15	17.14	17.13	17.13	17.12	17.12	17.11	17.11	17.11
1.00	16.67	16.62	16.36	16.10	15.97	15.91	15.89	15.88	15.88	15.87	15.87	15.87	15.87	15.87	15.87	15.87
1.05	13.66	15.00	14.91	14.77	14.71	14.68	14.67	14.67	14.67	14.67	14.68	14.68	14.68	14.68	14.68	14.68
1.10	9.84	13.33	13.48	13.49	13.50	13.51	13.52	13.52	13.52	13.53	13.54	13.54	13.54	13.55	13.55	13.56
1.15	0.29	11.67	12.10	12.27	12.34	12.39	12.42	12.44	12.45	12.46	12.46	12.47	12.48	12.49	12.49	12.30
1.20	0.00	10.00	10.76	11.10	11.24	11.34	11.38	11.41	11.42	11.43	11.44	11.44	11.46	11.47	11.48	11.49
1.25	0.00	8.33	9.46	9.98	10.21	10.34	10.40	10.43	10.46	10.47	10.48	10.50	10.52	10.53	10.54	10.56
1.30	0.00	6.67	8.21	8.93	9.22	9.40	9.48	9.52	9.55	9.57	9.58	9.60	9.63	9.64	9.65	9.66
1.35	0.00	5.00	7.02	7.92	8.30	8.52	8.61	8.66	8.69	8.72	8.74	8.76	8.79	8.81	8.82	8.83
1.40	0.00	3.33	5.88	6.98	7.44	7.69	7.80	7.86	7.90	7.92	7.94	7.97	8.01	8.02	8.04	8.05
1.45	0.00	1.67	4.81	6.10	6.63	6.92	7.04	7.11	7.15	7.18	7.21	7.24	7.28	7.30	7.31	7.33
1.50	0.00	0.00	3.80	5.28	5.87	6.20	6.34	6.41	6.46	6.50	6.52	6.55	6.60	6.61	6.64	6.65
1.55	0.00	0.00	2.87	4.52	5.18	5.54	5.69	5.77	5.82	5.86	5.88	5.92	5.97	5.99	6.01	6.02
1.60	0.00	0.00	2.03	3.83	4.54	4.92	5.09	5.17	5.23	5.27	5.30	5.33	5.38	5.41	5.43	5.44
1.65	0.00	0.00	1.28	3.19	3.95	4.36	4.83	4.62	4.68	4.72	4.75	4.79	4.85	4.87	4.90	4.91
1.70	0.00	0.00	0.66	2.62	3.41	3.84	4.02	4.12	4.18	4.22	4.25	4.30	4.35	4.38	4.41	4.42
1.75	0.00	0.00	0.19	2.11	2.93	3.37	3.56	3.66	3.72	3.77	3.80	3.84	3.90	3.93	3.95	3.97
1.80	0.00	0.00	0.00	1.65	2.49	2.94	3.13	3.24	3.30	3.35	3.38	3.43	3.48	3.51	3.54	3.55
1.85	0.00	0.00	0.00	1.26	1.09	2.56	2.75	2.85	2.92	2.97	3.00	3.05	3.10	3.13	3.16	3.17
1.90	0.00	0.00	0.00	0.93	1.75	2.21	2.40	2.51	2.57	2.62	2.65	2.70	2.76	2.79	2.82	2.83
1.95	0.00	0.00	0.00	0.65	1.44	1.90	2.09	2.19	2.26	2.31	2.34	2.39	2.45	2.48	2.50	2.52
2.00	0.00	0.00	0.00	0.43	1.17	1.62	1.81	1.91	1.98	2.03	2.06	2.10	2.16	2.19	2.22	2.23
2.05	0.00	0.00	0.00	0.26	0.94	1.37	1.56	1.66	1.73	1.77	1.80	1.85	1.91	1.94	1.96	1.98
2.10	0.00	0.00	0.00	0.14	0.74	1.16	1.34	1.44	1.50	1.54	1.58	1.62	1.68	1.71	1.73	1.75
2.15	0.00	0.00	0.00	0.06	0.58	0.97	1.14	1.24	1.30	1.34	1.37	1.42	1.47	1.50	1.53	1.54
2.20	0.000	0.00	0.000	0.015	0.437	0.803	0.968	1.061	1.120	1.161	1.192	1.233	1.287	1.314	1.340	1.352
2.25	0.000	0.00	0.000	0.001	0.324	0.660	0.816	0.905	0.962	1.002	1.031	1.071	1.123	1.148	1.173	1.186
2.30	0.000	0.00	0.000	0.000	0.233	0.538	0.685	0.769	0.823	0.861	0.888	0.927	0.977	1.001	1.025	1.037

(continúa)

Fuente. Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2009) "Control estadístico de calidad y seis sigma. 2da edición", Mc Graw Hill, México. Pág. 362

TABLA 12.18 Tabla para estimar el porcentaje de defectuosos en el lote (p_i o p_j) para Z_{EI} o Z_{ES} usando el método de la desviación estándar (continuación).

Z_{EI} o Z_{ES}	TAMAÑO DE LA MUESTRA															
	3	4	5	7	10	15	20	25	30	35	40	50	75	100	150	200
2.35	0.000	0.000	0.000	0.000	0.163	0.435	0.571	0.650	0.701	0.736	0.763	0.779	0.847	0.870	0.893	0.905
2.40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.109	0.348	0.473	0.546	0.594	0.628	0.653	0.687	0.732	0.755	0.777	0.737
2.45	0.000	0.000	0.000	0.000	0.069	0.275	0.389	0.457	0.501	0.533	0.556	0.589	0.632	0.653	0.673	0.684
2.50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.041	0.214	0.317	0.380	0.421	0.451	0.473	0.503	0.543	0.563	0.582	0.592
2.55	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	0.165	0.257	0.314	0.352	0.379	0.400	0.428	0.465	0.484	0.502	0.511
2.60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.125	0.207	0.258	0.293	0.318	0.337	0.363	0.398	0.415	0.432	0.441
2.65	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.094	0.165	0.211	0.243	0.265	0.282	0.307	0.339	0.355	0.371	0.379
2.70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.069	0.130	0.171	0.200	0.220	0.236	0.258	0.288	0.302	0.317	0.325
2.75	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.049	0.102	0.138	0.163	0.182	0.196	0.216	0.243	0.257	0.271	0.277
2.80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.079	0.110	0.133	0.150	0.162	0.181	0.205	0.218	0.230	0.237
2.85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.060	0.088	0.108	0.122	0.134	0.150	0.173	0.184	0.195	0.201
2.90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.046	0.069	0.087	0.100	0.110	0.125	0.145	0.155	0.165	0.171
2.95	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.034	0.054	0.069	0.081	0.090	0.103	0.121	0.130	0.140	0.144
3.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.025	0.042	0.056	0.065	0.073	0.084	0.101	0.109	0.118	0.122
3.05	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.018	0.032	0.043	0.052	0.059	0.069	0.083	0.091	0.099	0.103
3.10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.013	0.024	0.034	0.041	0.047	0.056	0.069	0.076	0.083	0.086
3.15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.009	0.018	0.026	0.033	0.038	0.046	0.067	0.063	0.069	0.072
3.20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.006	0.014	0.020	0.026	0.030	0.037	0.047	0.062	0.057	0.060
3.25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.010	0.015	0.020	0.024	0.030	0.038	0.043	0.048	0.050
3.30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.007	0.012	0.015	0.019	0.024	0.031	0.035	0.039	0.042
3.35	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.005	0.009	0.012	0.015	0.019	0.025	0.029	0.032	0.034
3.40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004	0.007	0.009	0.011	0.015	0.020	0.023	0.027	0.028
3.45	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.005	0.007	0.009	0.012	0.016	0.019	0.022	0.023
3.50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.003	0.005	0.007	0.009	0.013	0.015	0.018	0.019
3.55	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.004	0.005	0.007	0.011	0.012	0.015	0.016
3.60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.002	0.004	0.006	0.008	0.010	0.012	0.013
3.65	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.003	0.004	0.007	0.008	0.010	0.010
3.70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.002	0.003	0.005	0.006	0.008	0.008
3.75	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.002	0.004	0.005	0.006	0.007
3.80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006
3.85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.004	0.004
3.90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.003	0.003	0.004

Fuente. Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2009) "Control estadístico de calidad y seis sigma. 2da edición", Mc Graw Hill, México. Pág. 363