



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

**"MEJORA EN LA ATENCIÓN DE ÓRDENES DE TRABAJO PARA
AUMENTAR EL NIVEL DE SERVICIO DE UN LABORATORIO DE
ANÁLISIS DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN"**

T R A B A J O T E R M I N A L D E G R A D O

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA DE LA CADENA DE SUMINISTRO

P R E S E N T A

ING. JOSUÉ ROJAS RODRÍGUEZ

Director de Trabajo Terminal de Grado M. en I. Gaston Vertiz Camaron

Tutores Académicos

M. en I. José Concepción López Rivera

Dr. Javier García Gutiérrez

TOLUCA, MÉX. JULIO DE 2022

CONTENIDO

	Página
Introducción	1
Capítulo 1 Antecedentes y problema de investigación	
1.1 Contexto del laboratorio	4
1.2 Problema de investigación	9
1.3 Objetivos	10
1.4 Justificación	11
1.5 Hipótesis	12
1.6 Metodología	12
Capítulo 2 Marco Teórico	
2.1 Laboratorios de materiales dentro de la cadena de suministro.....	15
2.2 Factores de éxito en la gestión de proyectos	16
2.3 Proceso Analítico Jerárquico.....	19
2.4 Indicadores Claves de Desempeño.....	21
2.5 Modelos de Simulación	25
Capítulo 3 Elementos básicos para la propuesta metodológica	
3.1 Recopilación de datos	28
3.2 Categorización de datos	29
3.3 Análisis de datos	29
Capítulo 4 Establecimiento de indicadores, modelación, implementación, verificación y validación	
4.1 Establecimiento de Indicadores Claves de Desempeño.....	37
4.2 Posicionamiento del laboratorio en el mercado.....	39
4.3 Determinación de la capacidad del laboratorio.....	42

4.3.1	Capital Humano	42
4.3.2	Herramientas y Equipo	42
4.3.3	Instalaciones	43
4.4	Modelación para determinar el rendimiento del laboratorio	44
4.5	Implementación.....	46
4.5.1	Parámetros del sistema.....	47
4.5.2	Entradas del sistema.....	54
4.5.3	Salidas del sistema	54
4.5.4	Modelo de simulación aplicado al laboratorio	54
4.6	Verificación y validación del modelo.....	61
Capítulo 5 Propuesta y experimentos computacionales		
5.1	Modelo de simulación con el software Arena®.....	64
5.2	Modelo de simulación con software Jaamsim	64
5.3	Escenarios propuestos para mejorar el nivel de servicio	66
5.3.1	Caso 1: Aumento en la cantidad de llegada de PRE, mismo porcentaje de confirmación de PRE y misma tasa de atención de OT ...	66
5.3.2	Caso 2: Misma tasa de llegada de PRE, aumento en el porcentaje de confirmación de OT, y misma tasa de atención de OT	70
5.3.3	Caso 3: Misma tasa de llegada de PRE, mismo porcentaje de confirmación de PRE, incremento en la tasa de atención para las OT ...	72
5.3.4	Caso 4: Aumento en la cantidad de llegada de PRE, aumento porcentaje de confirmación, y aumento en tasa de atención de OT.....	76
Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros		78
Referencias y anexos		90

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 Servicios de geotecnia	5
Figura 1.2 Servicios de concreto asfáltico	5
Figura 1.3 Servicios de concreto hidráulico	6
Figura 1.4 Proceso de atención de órdenes de trabajo durante el primer evento	7
Figura 1.5 Proceso de atención de órdenes de trabajo durante el segundo evento....	7
Figura 1.6 Ubicación actual del Laboratorio de Materiales	8
Figura 1.7 Diagrama causa – raíz para el problema de investigación.....	10
Figura 1.8 Desarrollo de la metodología.....	14
Figura 2.1 Ubicación de laboratorios de materiales dentro de la cadena de suministro en la construcción	16
Figura 2.2 Categorización de KPI (Kang et al, 2016).....	24
Figura 3.1 Comparativa de presupuestos solicitados vs órdenes de trabajo del 2014 al 2019	31
Figura 3.2 Preferencia de solicitud promedio de los servicios para el año 2014 al 2019	32
Figura 3.3 Estados que solicitaron PRE durante el 2014 – 2019.....	33
Figura 3.4 Distribución para el tiempo que tarda la confirmación (GA – Enero).....	35
Figura 4.1 Criterios y sub-criterios para realizar AHP	40
Figura 4.2 Estructura inicial del modelo de simulación	47
Figura 4.3 Modelo de simulación para servicios de AC y CAS (Arena®).....	55
Figura 4.4 Modelo de simulación para servicios de CHA (Arena®)	56
Figura 4.5 Modelo de simulación para servicios de GA (Arena®).....	56
Figura 4.6 Plantilla del modelo de simulación para generar entradas en el sistema (JaamSim).....	58
Figura 4.7 Plantilla del modelo de simulación para servicios de AC (JaamSim)	59
Figura 4.8 Plantilla del modelo de simulación para servicios de EP (JaamSim)	60
Figura 4.9 Plantilla del modelo de simulación para servicios de TOP (JaamSim).....	60

Figura 4.10	Plantilla del modelo de simulación para servicios MULTI (JaamSim)	61
Figura 5.1	Gráfica comparativa de datos obtenidos en el escenario 1.....	69
Figura 5.2	Gráfica comparativa de KPI obtenidos en el escenario 1.....	69
Figura 5.3	Gráfica comparativa de datos obtenidos en el escenario 2.....	71
Figura 5.4	Gráfica comparativa de KPI obtenidos en el escenario 2.....	72
Figura 5.5	Gráfica comparativa de datos obtenidos en el escenario 3.....	75
Figura 5.6	Gráfica comparativa de KPI obtenidos en el escenario 3.....	75
Figura 5.7	Gráfica comparativa de datos obtenidos en el escenario 4.....	77
Figura 5.8	Gráfica comparativa de KPI obtenidos en el escenario 4.....	77

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 3.1 Recopilación de datos del año 2014	28
Tabla 3.2 Total de PRE, OT y porcentaje de confirmación del año 2014.....	30
Tabla 3.3 Total de presupuestos, órdenes de trabajo y porcentaje de confirmación del año 2014 al 2019	31
Tabla 3.4 Preferencia de servicio media.....	34
Tabla 3.5 Probabilidad de cantidad de PRE	35
Tabla 3.6 Probabilidad de días transcurridos entre presupuestos	35
Tabla 3.7 Probabilidad de tiempo de confirmación (GA - febrero)	36
Tabla 4.1 Indicadores Claves de Desempeño para evaluar el desempeño	38
Tabla 4.2 Estimación de uso de recursos para una perforación estándar a 15 metros.....	45
Tabla 4.3 Probabilidad discreta para la cantidad de PRE por mes	49
Tabla 4.4 Probabilidad discreta para días entre PRE por mes.....	50
Tabla 4.5 Probabilidades para retraso en el tiempo de confirmación (Enero)	50
Tabla 4.6 Distribuciones de probabilidad discreta para confirmación de los PRE	51
Tabla 4.7 Distribuciones de probabilidad discreta para selección de tipo de prueba ..	52
Tabla 4.8 Distribuciones para los tiempos de servicio	53
Tabla 4.9 Verificación de generación de datos con respecto a preferencia por servicio (Enero).....	62
Tabla 5.1 KPI obtenidos con el modelo de simulación (Enero)	65
Tabla 5.2 Probabilidad en la cantidad de llegada de PRE de enero del escenario 1	67
Tabla 5.3 Probabilidad en la cantidad de llegada de PRE de febrero del escenario 1	67
Tabla 5.4 Probabilidad en la cantidad de llegada de PRE de marzo del escenario 1	67
Tabla 5.5 Resultados obtenidos a partir del escenario 1	68
Tabla 5.6 KPI obtenidos del escenario 1	68

Tabla 5.7	Probabilidad de confirmación de los PRE para el escenario 2	70
Tabla 5.8	Resultados obtenidos a partir del escenario 2	71
Tabla 5.9	KPI obtenidos del escenario 2	71
Tabla 5.10	Distribuciones para los tiempos de servicio considerando el tercer escenario	73
Tabla 5.11	Resultados obtenidos a partir del escenario 3	74
Tabla 5.12	KPI obtenidos del escenario 3	74
Tabla 5.13	Resultados obtenidos a partir del escenario 4	76
Tabla 5.14	KPI obtenidos del escenario 4	76

LISTA DE ANEXOS

	Página
Anexo A.1 Recopilación de datos del año 2015 al 2019	93
Anexo A.2 Total de presupuestos, órdenes de trabajo y porcentaje de confirmación del 2015 al 2019.....	94
Anexo A.3 Comparativa en distancia entre municipios que solicitan presupuestos contra ubicaciones del laboratorio	96
Anexo A.4 Formato de encuesta de los procesos del laboratorio	98
Anexo A.5 Base formulario y resultados de encuesta	117
Anexo A.6 Probabilidades para retraso en el tiempo de confirmación (Febrero – Diciembre)	122
Anexo A.7 Verificación de generación de datos con respecto a preferencia por servicio (Febrero – Diciembre).....	127
Anexo A.8 Intervalos de confianza (Enero – Diciembre)	131
Anexo A.9 KPI obtenidos con el modelo de simulación (Febrero – Diciembre)	135

ACRÓNIMOS

- **KPI** Key Performance Indicators
Indicadores Claves de Desempeño
- **AHP** Analytic Hierarchy Process
Proceso Analítico Jerárquico
- **SCOR** Supply Chain Operations Reference
Marco de referencia para las operaciones de la cadena de suministro
- **SCM** Supply Chain Management
Gestión de la Cadena de Suministro
- **PMS** Performance Management System
Sistemas de Medición de Desempeño
- **PRE** Presupuestos
- **OT** Órdenes de Trabajo
- **AC** Acero
- **CAS** Concreto Asfáltico
- **CHA** Concreto Hidráulico
- **EP** Elementos Prefabricados
- **GA** Geotecnia
- **TOP** Topografía
- **MULTI** Múltiples
- **%CONF** Porcentaje de Confirmación
- **Frec.** Frecuencia
- **%CS** Porcentaje de Confirmación de Servicio
- **OTPC** Órdenes de Trabajo Por Confirmar

- **%OTPC** Porcentaje de Órdenes de Trabajo Por Confirmar
- **%CT** Porcentaje de Confirmación Total
- **OA** Órdenes Atendidas
- **OEA** Órdenes en Atención
- **%OA** Porcentaje de Órdenes en Atención
- **WIP** Work In Process
Trabajo en Proceso
- **SPT** Standard Perforation Test
Prueba de Perforación Estándar
- **FIFO** First In First Out
Primeras Entradas Primeras Salidas

GLOSARIO

KPI	Medida que determina el rendimiento de un proceso, área o funciones operativas o administrativas.
AHP	Técnica estructurada para tomar decisiones complejas, ayuda a los tomadores de decisiones a encontrar la mejor elección entre diferentes opciones, que cubra las necesidades y se adapte mejor al problema.
SCOR	Herramienta estandarizada para el diagnóstico en cadenas de suministros, en la que se analiza el estado actual de los procesos y objetivos de una empresa, así mismo, cuantifica y compara el rendimiento operativo.
SCM	Gestión del flujo de bienes, datos y aspectos económicos en bienes o servicios, desde la adquisición de materias primas hasta el destino final.
PMS	Sistema encargado de medir el desempeño de los trabajadores dentro de una empresa, ayuda a establecer de forma clara las expectativas de desempeño.
SPT	Prueba de penetración utilizada para reconocimiento geotécnico de suelos.
Mecánica de suelos	Prueba encargada de analizar las fuerzas en la superficie y el comportamiento del terreno, también permite conocer las propiedades físicas del suelo.
Geotecnia	Aplicación de métodos y principios de ingeniería para la interpretación y aplicación de los materiales en obra civil.
FIFO	Método utilizado en la administración de inventarios, en la que los primeros elementos que ingresan, deben ser los primeros en salir.

Six Sigma Estrategia para la mejora de procesos, la cual se enfoca en la reducción en la variabilidad, refuerzo y optimización de los mismos.

Stakeholders Término utilizado para referirse al sector de interés para una empresa, son las personas u organizaciones involucradas con las actividades y decisiones dentro de una organización.

Diagrama Ishikawa Diagrama de causa o efecto o también conocido como espina de pez, es una herramienta que identifica las posibles causas de un problema.

INTRODUCCIÓN

Las cadenas de suministro se componen por la interacción entre diferentes sistemas, los cuales aportan en distintas actividades para cumplir las necesidades de los clientes, pueden estar orientadas en dos sentidos: hacia la producción de bienes y en la oferta de servicios.

Las cadenas que están orientadas a la oferta de servicios se caracterizan por funcionar como sistemas “pull”, estos se activan sólo cuando un cliente solicita los servicios, por lo tanto, no es posible contar con un stock de servicios. Las solicitudes de los clientes deben ser atendidas en cuanto se requiere y es preciso ofrecer servicios de calidad que permitan satisfacer las necesidades de los consumidores con un buen nivel de servicio.

El trabajo de investigación se desarrolla en un laboratorio de análisis de materiales para la construcción, el cual mediante distintas pruebas se encarga de determinar las propiedades físicas de los materiales en cuestión. Este laboratorio ha ofrecido sus servicios desde hace 50 años y actualmente mantiene una acreditación para los servicios de pruebas que presentan mayor demanda, ejecutándose conforme a la normativa correspondiente.

Durante la gestión del laboratorio han sucedido cambios que modificaron el comportamiento de la solicitud de presupuestos por parte de los clientes, y en consecuencia la confirmación de estos. Dichos cambios redujeron la cantidad de personal (técnicos laboratoristas), los recursos económicos y la capacidad de atención de clientes.

Los administradores del laboratorio han buscado la forma de captar de nuevo la demanda que, en años anteriores era atendida; sin embargo, se desconoce si la capacidad actual del laboratorio es suficiente para soportar este aumento de demanda.

El contenido del trabajo de investigación está dividido en 5 capítulos, de la siguiente manera:

Capítulo 1 Antecedentes y problema de investigación: se describen las características principales del laboratorio, los tipos de servicios que ofrece, el proceso de atención a clientes y los cambios acontecidos, asimismo, se desarrolla la caracterización del problema, se explican los objetivos del trabajo de investigación, justificación, hipótesis y metodología a seguir para el desarrollo del trabajo.

Capítulo 2 Marco teórico: se describen los diferentes métodos, técnicas, herramientas y trabajos de investigación sobre temas de Indicadores Claves de Desempeño (KPI), simulación, cadena de suministro y Proceso Analítico Jerárquico, que tienen relación con laboratorios de análisis de materiales para la construcción.

Capítulo 3 Elementos básicos para la propuesta metodológica: el objetivo de este capítulo es establecer los tópicos que serán utilizados en la propuesta metodológica, se desarrolla el análisis de datos correspondientes a la cantidad de presupuestos solicitados, la cantidad de presupuestos confirmados (órdenes de trabajo), tipo de servicio y pruebas realizadas en un periodo de tiempo desde el año 2014 hasta el 2019. El análisis de los componentes que integran la metodología permitirá realizar las siguientes etapas.

Capítulo 4 Establecimiento de indicadores, modelación, implementación, verificación y validación: En este capítulo se establecen los KPI que permiten conocer el estado del laboratorio, se construye el modelo de simulación de acuerdo con parámetros, variables y procesos propios del laboratorio, asimismo, se realiza la verificación y validación

de este modelo. Este capítulo establece las bases necesarias para desarrollar los experimentos computacionales conforme a los escenarios propuestos.

Capítulo 5 Propuesta y experimentos computacionales: Se describen las pruebas computacionales de cuatro escenarios, las cuales, han sido consideradas como posibles situaciones en las que podría encontrarse el laboratorio, de igual manera, se realiza el análisis de datos y se determinan los indicadores de desempeño.

En la parte final del trabajo de investigación se encuentran las conclusiones que se lograron, las recomendaciones para llevar a la práctica los escenarios propuestos y los trabajos futuros de esta investigación, también, se integran las gráficas de los cuestionarios aplicados y los resultados de los escenarios del modelo de simulación.

El alcance del proyecto de investigación fue de carácter exploratorio debido a que, durante la investigación, se encontró que se no se ha reportado mayor literatura orientada a laboratorios relacionados con la temática de investigación, y que esté relacionada directamente a la gestión en laboratorios que analizan materiales para la construcción.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES Y PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo se describen de forma general las características del laboratorio, los tipos de servicios que oferta, el proceso para la atención de órdenes de trabajo de los clientes y los cambios que tuvieron repercusión en la gestión del laboratorio. Se describe el problema del trabajo de investigación, se explican los objetivos, justificación, hipótesis y metodología a seguir para el desarrollo del trabajo.

1.1 CONTEXTO DEL LABORATORIO

El laboratorio fue creado entre los años 1956 y 1962, en primera instancia fue establecido para completar la formación académica de alumnos de una universidad y a partir del año 1970 comenzó a ofrecer servicios externos especializados en el análisis de materiales para la construcción, y actualmente el laboratorio ofrece siete tipos de servicios:

- Acero
- Concreto asfáltico
- Concreto hidráulico
- Elementos prefabricados
- Geotecnia
- Topografía
- Múltiples

Las pruebas que son realizadas para los diferentes servicios permiten conocer propiedades físicas de los materiales que están siendo analizados, en las figuras 1.1 a 1.3 se muestran algunos ejemplos de los servicios ofertados.



Figura 1.1 Servicios de geotecnia
Fuente: Elaboración propia



Figura 1.2 Servicios de concreto asfáltico
Fuente: Elaboración propia



Figura 1.3 Servicios de concreto hidráulico
Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que el laboratorio cuenta con equipo especializado para realizar estas pruebas, además, el personal es capacitado y evaluado constantemente para atender correctamente las órdenes de trabajo que solicitan los clientes. En la gestión del laboratorio desde el año 2010 se han presenciado situaciones que han modificado aspectos funcionales del mismo, se ha visto disminuida la solicitud de presupuestos que en consecuencia reduce el nivel de confirmación, la cantidad de trabajadores disminuyó y el flujo de recursos económicos fue más lento.

El laboratorio ha transitado por tres eventos que modificaron la administración de este. Durante el primer evento, la característica principal fue que el flujo de recursos era administrado por el propio laboratorio. De manera empírica los administradores consideran

que la solicitud de servicios era mayor, el proceso de atención de los clientes se observa en la figura 1.4.

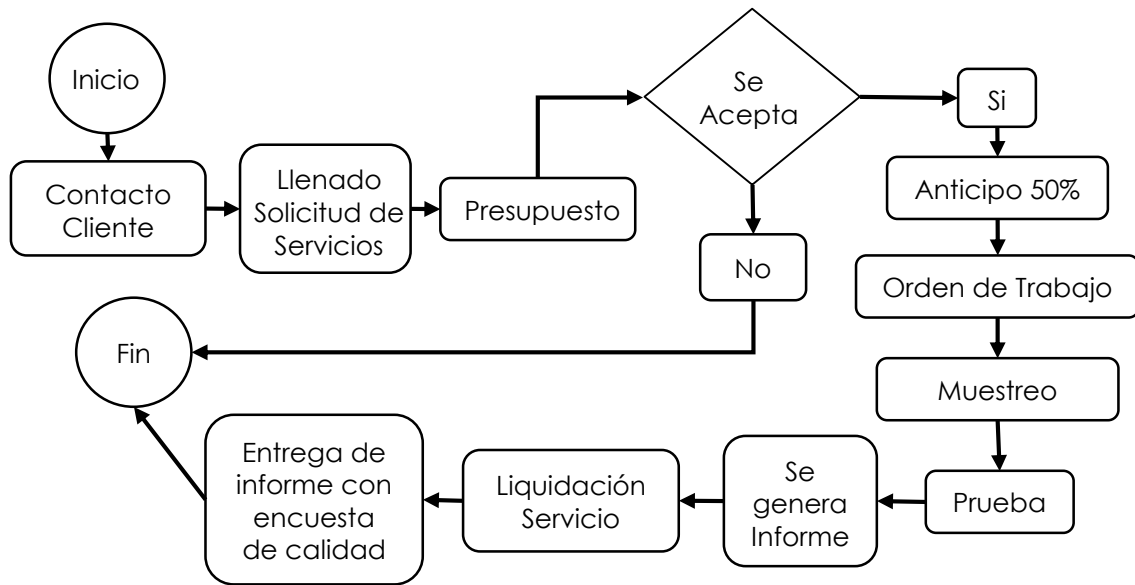


Figura 1.4 Proceso de atención de órdenes de trabajo durante el primer evento
Fuente: Elaboración propia

Para el segundo evento, el flujo de los recursos económicos fue centralizado y la demanda de servicios se vio disminuida. En la figura 1.5 se muestra el proceso considerando esta centralización.

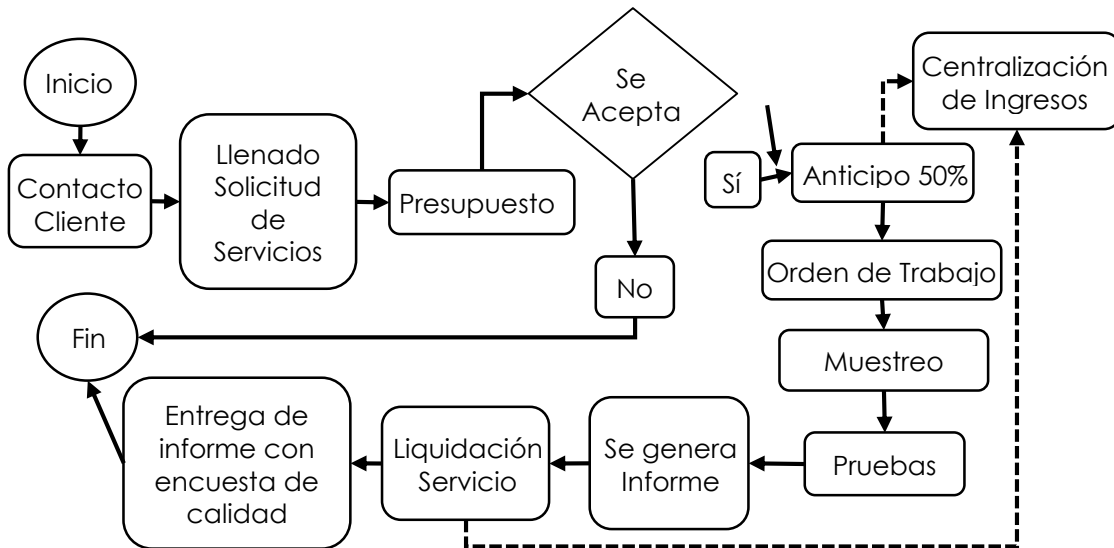


Figura 1.5 Proceso de atención de órdenes de trabajo durante el segundo evento
Fuente: Elaboración propia

En el último evento ocurrió una reubicación de instalaciones, lo cual alejó el laboratorio en aproximadamente 22 km, o bien un tiempo estimado de viaje de 30 minutos, aunado a esta situación la percepción de los administradores fue la disminución en la solicitud de presupuestos y por la tanto, la confirmación de los mismos. En la figura 1.6 se puede observar la localización actual del laboratorio y la distancia a la cual se encuentra partiendo de su ubicación anterior.

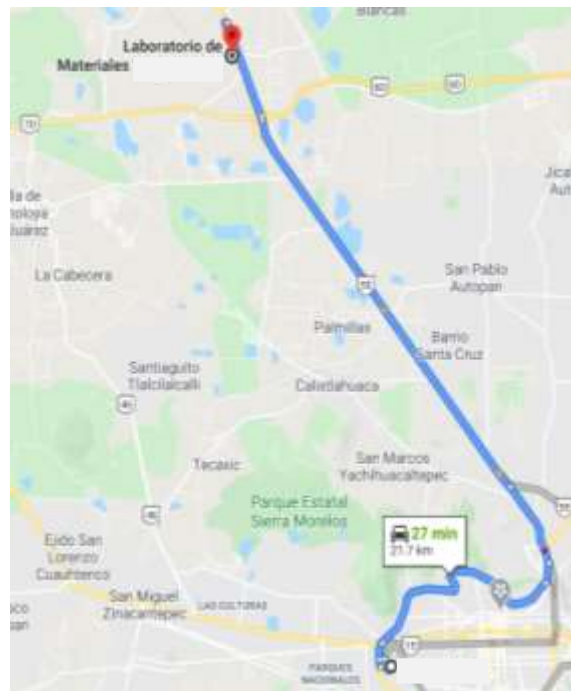


Figura 1.6 Ubicación actual del Laboratorio de Materiales.
Fuente: Elaboración propia con apoyo de Google Maps

Para atender los servicios que son solicitados, el laboratorio logró y ha mantenido desde el 2012 una acreditación para 12 pruebas relacionadas a los servicios de Concreto hidráulico y Geotecnia, esta acreditación se encuentra avalada por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA), lo cual garantiza que los procedimientos están siendo realizados conforme a las normas correspondientes.

Dentro del Reglamento de Construcción de la Ciudad de México en su artículo 46 en el inciso e) menciona las obligaciones de los constructores: *“contratar laboratorios certificados y/o acreditados por entidades autorizadas para realizar las pruebas que se establezcan en las Normas para garantizar la calidad de los materiales”* (Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, 2019), de esta manera resulta de gran importancia que cualquier construcción deba contratar los servicios de laboratorios que estén acreditados, como el del caso de estudio. Debido a esta razón es importante garantizar la calidad de las pruebas y en consecuencia mejorar la atención de los clientes, lo que ocasionaría un avance significativo en la demanda de órdenes de trabajo y el flujo de recursos económicos, y al mismo tiempo, obtener un mejor impacto en el rendimiento de las operaciones del laboratorio.

1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Los administradores del laboratorio han determinado que, a partir de la reubicación de las instalaciones, el número total de órdenes de trabajo atendidas se ha visto disminuido, así como la cantidad de ingresos generados. Esto provocó la búsqueda de estrategias para captar de nuevo a los clientes. Una de las acciones concretas fue la actualización de la página web del laboratorio, ésta tuvo como finalidad obtener mayor visibilidad en el mercado y atraer clientes. En el portal se puede observar los tipos de servicios ofertados, la acreditación lograda e información de contacto, sin embargo, esta estrategia aún está en proceso de lograr los resultados esperados.

La pérdida de los clientes ha sido asociada a la reubicación de las instalaciones, algunos de ellos han referido que siguen acudiendo a la institución donde el laboratorio se ubicaba con anterioridad. También han indicado que la lejanía de las instalaciones es un factor para contratar los servicios, en consecuencia, se pierden éstos posibles ingresos.

Para identificar el problema de la investigación, se realizó el análisis de causa raíz mediante un diagrama de Ishikawa, en el que de acuerdo con Guajardo (2008) se consideran como base 4P's (Proveedores e insumos, Personal, Procedimientos y Procesos y recursos) para áreas administrativas, de esta forma se identifican las causas que han provocado la disminución de los presupuestos y órdenes de trabajo; en la figura 1.7 se observa el diagrama realizado.

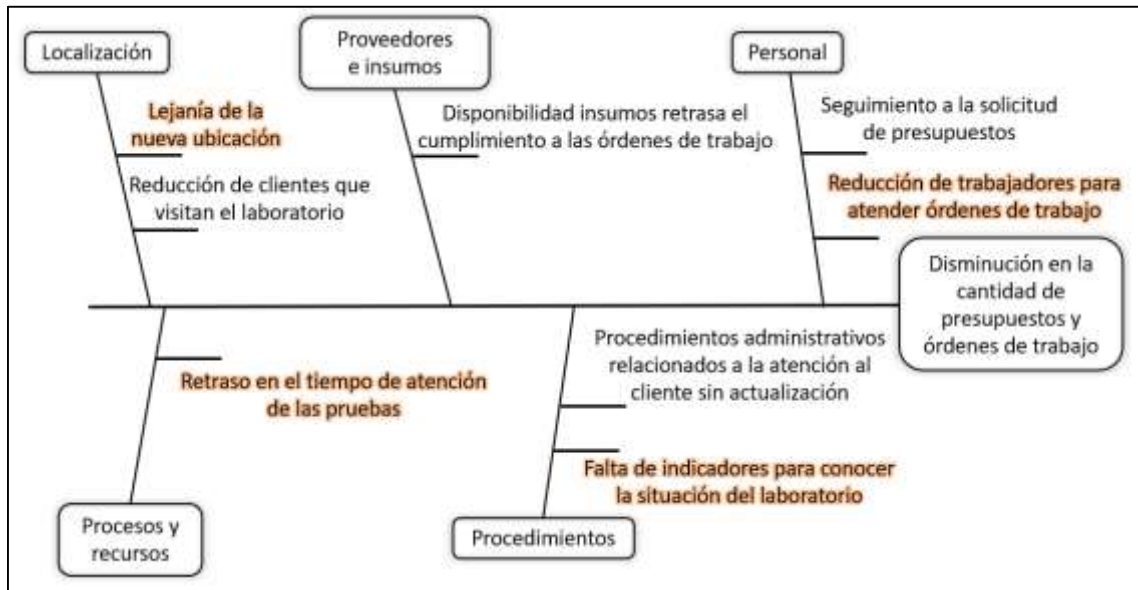


Figura 1.7 Diagrama causa – raíz para el problema de investigación
Fuente: Elaboración propia a partir de Guajardo (2008)

1.3 OBJETIVOS

Objetivo General

Mejorar el desempeño en el procesamiento de las órdenes de trabajo para incrementar el nivel de servicio de un laboratorio de materiales mediante un enfoque cuantitativo.

Objetivos específicos

- Revisar la literatura existente sobre los siguientes temas: órdenes de trabajo, laboratorios de materiales, modelos matemáticos, simulación, KPI, cadena de suministro y Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

- Analizar, categorizar e identificar los datos históricos existentes en el laboratorio de materiales respecto a cotizaciones, número total de órdenes de trabajo atendidas, nivel de servicio, cantidad de pruebas realizadas dentro de un periodo de tiempo.
- Definir y establecer los KPI que permitan al laboratorio de materiales medir el nivel de servicio actual de las órdenes de trabajo.
- Conocer la posición en la que el Laboratorio de Materiales se encuentra comparado con la competencia local, a través de un proceso de selección de proveedores con la aplicación del AHP.

1.4 JUSTIFICACIÓN

En los últimos años se ha notado una disminución significativa en la demanda de los servicios del laboratorio, y se acentuó cuando éste cambió sus instalaciones físicas. Aunque se sigue ofreciendo servicio para fines académicos, los ingresos se encuentran por debajo del nivel esperado, por lo que es necesario realizar acciones correctivas y diseñar estrategias que permitan incrementar los ingresos y al mismo tiempo aprovechar la capacidad de las instalaciones del laboratorio.

En la administración del laboratorio en años anteriores se observó que, se contaba con la suficiente capacidad para cubrir grandes proyectos de construcción y al mismo tiempo seguir atendiendo los requerimientos académicos. Mediante la atención de un mayor número de clientes se esperaba recuperar los ingresos que antes eran percibidos, lo cual permitiría adquirir recursos para seguir ofreciendo servicios de calidad y complementar la formación de los alumnos.

Los beneficios al realizar este proyecto de investigación se dividen en 3 ejes:

- **Para el laboratorio:**
 - Mayor visibilidad del laboratorio y por lo tanto mayor captación de clientes.
 - Incorporación de un sistema de medición por medio de KPI para la mejora continua.
- **Para los clientes:**
 - Seguir ofreciéndoles servicios con un laboratorio acreditado.
 - Los clientes podrán volver a contar con los servicios con mayor accesibilidad (territorial).
- **Para el alumnado:**
 - Enseñanza de los procedimientos apegados a las normas actualizadas correspondientes.
 - Apoyo a proyectos, trabajos e investigación que los alumnos deseen desarrollar en las instalaciones del laboratorio.

1.5 HIPÓTESIS

Al considerar los aspectos de cadena de suministro, KPI, AHP y la simulación, será posible incrementar el nivel de servicio y la rentabilidad del laboratorio de análisis materiales para la construcción.

1.6 METODOLOGÍA

El desarrollo del trabajo de investigación se realizará en 9 diferentes etapas, las cuales en su conjunto permitirán validar la hipótesis:

- 1) **Identificación del problema:** en la gestión del laboratorio se han observado diferentes situaciones que afectaron aspectos funcionales del mismo, pues se

disminuyó la solicitud de servicios por los clientes, el flujo de recursos económicos y la cantidad de trabajadores.

- 2) **Búsqueda de información:** mediante la búsqueda sobre trabajos de investigación relacionados a los temas de órdenes de trabajo, laboratorio de materiales, simulación, KPI, cadena de suministro, nivel de servicio y AHP es posible conocer como distintos autores han abordado una problemática similar y de qué forma aportan al desarrollo del trabajo de investigación.
- 3) **Recolección, análisis, categorización e identificación de datos del laboratorio:** se compilarán los datos disponibles con los que el laboratorio cuenta. Estos serán considerados en un periodo de tiempo de 6 años el cual contempla desde el año 2014 al 2019; serán categorizados por presupuestos, órdenes de trabajos confirmadas, tipo de servicio y tiempo de confirmación.
- 4) **Establecimiento de KPI:** a través de la búsqueda de información es posible identificar qué KPI tienen mayor relación al trabajo de investigación, considerando los objetivos, visión y misión del laboratorio.
- 5) **Proceso Analítico Jerárquico:** con el desarrollo del AHP se pretende posicionar al laboratorio comparándolo con la competencia local, de esta forma es posible conocer en qué posición se encuentra el laboratorio evaluando distintos criterios.
- 6) **Determinar la capacidad del laboratorio:** con el análisis de cada proceso que realiza el laboratorio será posible determinar hasta qué punto el laboratorio puede atender órdenes de trabajo sin exceder el uso de los recursos disponibles.
- 7) **Modelación para determinar la capacidad del laboratorio:** mediante el análisis de los procedimientos de las pruebas y en conjunto de la aplicación de la herramienta más adecuada conforme a temáticas investigadas. Se determinará la capacidad del laboratorio para atender un mayor número de órdenes de trabajo, estableciendo diferentes escenarios contemplando distintos valores de los recursos disponibles.

- 8) Implementación y experimentación:** conforme a los resultados logrados en etapas anteriores se establecerán diferentes estrategias, de tal forma que se puedan cubrir los objetivos, misión y visión del laboratorio, y al mismo tiempo mejorar la capacidad de atención de órdenes de trabajo.
- 9) Resultados y conclusiones:** se determinará el número máximo de órdenes de trabajo que el laboratorio es capaz de procesar sin sobrepasar la capacidad del laboratorio.

En la figura 1.8 se muestra el proceso de desarrollo de la metodología

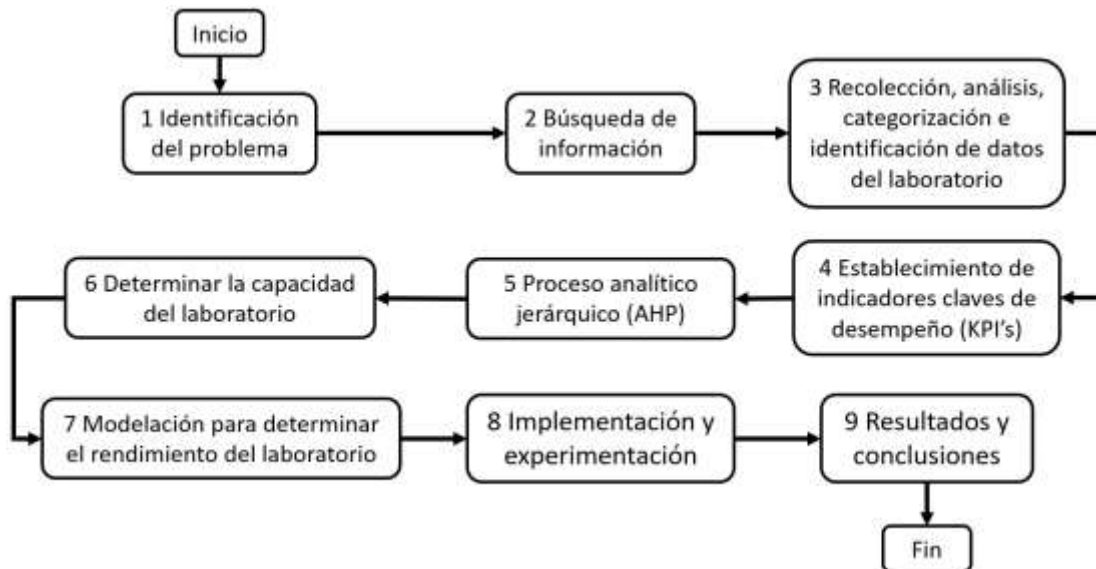


Figura 1.8 Desarrollo de la metodología
Fuente: Elaboración propia

Para identificar los KPI, aplicaciones del AHP, herramientas y técnicas utilizadas para representar el comportamiento operativo de empresas que tienen similitud al laboratorio, es necesario realizar revisión de literatura que aporte al trabajo de investigación.

CAPÍTULO 2

MARCO TEORÍCO

Dentro de esta sección se describen los distintos conceptos, técnicas, herramientas, métodos y trabajos de investigación que tienen relación con laboratorios de análisis de materiales o bien que realizan procesos similares. La investigación se centró en los temas de gestión de proyectos, KPI, simulación, cadena de suministro y AHP.

2.1 LABORATORIOS DE MATERIALES DENTRO DE LA

CADENA DE SUMINISTRO

La industria de la construcción es un sector basto y amplio, en el cual se involucran más áreas debido a la diversidad de procesos que son realizados, de acuerdo con Al-Werikat (2017) en la gestión de la cadena de suministro dentro de la construcción, se han identificado cuatro principales funciones que se concentran:

- 1) En el enlace entre la cadena de suministro y el sitio de la construcción
- 2) Únicamente en la cadena de suministro
- 3) En las actividades de transferencia del sitio de construcción hacía la cadena de suministro
- 4) En la gestión integral de la cadena de suministro y el sitio de construcción

Así cuando se realiza algún proyecto de obra civil, se requiere de la adquisición de materiales, el traslado de estos, contratación de trabajadores, especialistas, técnicos, etc.; posterior a esto la promoción o venta de los inmuebles, así mismo, se consideran los servicios de los laboratorios para analizar los materiales que serán utilizados durante la

construcción, en la figura 2.1 se ejemplifica la cadena de suministro y el lugar donde se ubican los laboratorios.

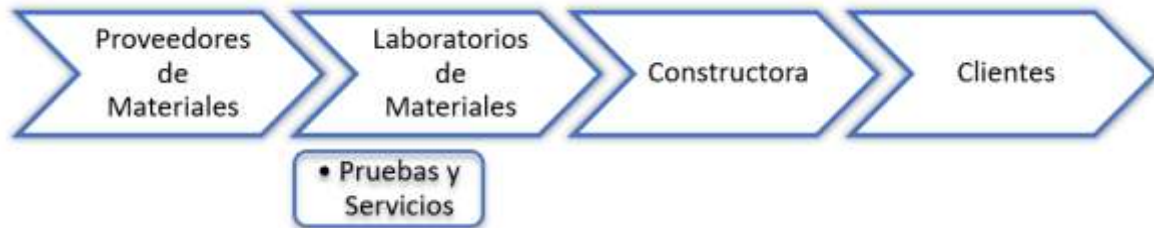


Figura 2.1 Ubicación de laboratorios de materiales dentro de la cadena de suministro en la construcción

Fuente: Elaboración propia a partir de Barnes (2001)

Los servicios que ofrecen este tipo de laboratorios forman parte de los eslabones que componen toda la cadena de suministro en la industria de la construcción, los resultados de las pruebas permiten verificar las capacidades físicas de los materiales en cuestión, además, garantizan a los clientes de la construcción, que los ensayos sometidos a las pruebas son los adecuados conforme a sus requerimientos.

2.2 FACTORES DE ÉXITO EN LA GESTIÓN DE PROYECTOS

En el desarrollo de proyectos es necesario conocer qué elementos contribuyen al éxito, mediante la identificación de estos componentes resulta sencillo enfocarnos a ellos directamente, sin embargo, no todos los factores son aplicables para todos los proyectos, por lo que solo deben ser interpretados como una guía, mas no como una regla general.

Radujković y Sjekavica (2017) consideran dos conceptos: el éxito del proyecto y el de la gestión de este, la diferencia principal del éxito del proyecto consiste en una evaluación general del logro de los objetivos de dicho proyecto. Por otra parte, el éxito de la gestión del proyecto está relacionado con mediciones de tiempo, costo y desempeño de la calidad,

por lo tanto, al considerar el segundo concepto, es posible lograr un mejor nivel de detalle en su desarrollo.

Por su parte Radujković & Sjekavica (2017) denotan tres categorías principales en las cuales los factores pueden ser agrupados: la primera “Elementos de Competencia en la Gestión de Proyectos” considera competencias técnicas y contexto del coordinador del proyecto y los miembros del equipo, así como su coordinación.

La segunda categoría “Elementos de la Organización” consiste en la estructura, cultura, y ambiente organizacional, así como sus competencias. La tercera categoría “Elementos de Metodologías, Métodos, Herramientas y Técnicas de Gestión de Proyectos” se compone de 6 partes:

1. Metodología de la gestión de proyectos,
2. Software en la gestión de proyectos,
3. Herramientas de gestión de proyectos,
4. Técnicas de toma de decisiones,
5. Herramientas de evaluación y riesgos
6. Herramientas de soporte de tecnología de comunicación e información

A partir de estas categorías se puede inferir que, si el proyecto cuenta con un coordinador competente, un equipo adecuado y existe una correcta coordinación entre el responsable y el equipo, se cuenta con una correcta estructura organizacional, así como un uso efectivo de métodos, herramientas y técnicas; de este modo el proyecto tiene altas posibilidades de éxito.

Para determinar si un proyecto tiene posibilidades de éxito se puede efectuar una evaluación de criterios, la cual permite calificar ciertos aspectos o condiciones propias del proyecto, así como de características del personal o de los recursos disponibles. Jha & Iyer (2007) consideran que la evaluación puede ser dividida en dos categorías: evaluación de criterios objetivos y subjetivos. La primera evaluación calificará aspectos tangibles y medibles como cumplimiento de las fechas, costo, calidad y seguridad; por otra parte, el segundo tipo de evaluación contempla aspectos intangibles como satisfacción del cliente y la satisfacción del equipo encargado de la gestión del proyecto.

Durante el desarrollo de los proyectos la documentación de las actividades realizadas es parte importante, debido a que cualquier anomalía detectada puede ser fácilmente rastreada y corregida, lo que conlleva a preservar evidencia del aprendizaje obtenido durante el proyecto. Todorović et al. (2013) hace referencia que el aprendizaje en ambientes de proyectos se ha vuelto tan importante para las empresas, que incluso el éxito del proyecto se divide en dos aspectos: el desempeño y el aprendizaje del proyecto.

Por lo tanto, los autores formulan la siguiente pregunta ¿La información relevante de un proyecto anterior puede ser reunida de forma sistemática, analizando y midiendo los resultados obtenidos? y también ¿puede este método de análisis de proyectos mejorar la adquisición y transferencia de conocimiento de proyectos anteriores? En el laboratorio, el aprendizaje es una constante latente y de forma empírica los laboratoristas conocen si un orden de trabajo representa un reto o es si es posible terminar las pruebas antes del tiempo establecido, sin embargo, todo este conocimiento no ha sido documentado.

2.3 PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO

Para la elección de algún proveedor de bienes o servicios, se deben considerar todos los aspectos que ofrecen las diferentes opciones como el costo, el tiempo de entrega, la atención al cliente, el servicio post-venta, calidad, entre otras más; el AHP es una herramienta que permite evaluar aspectos cualitativos y cuantitativos, mediante la comparación de criterios para la selección de algún proveedor.

Con la aplicación del AHP es posible determinar un peso y asignar una jerarquía a los criterios al momento de elegir algún proveedor. Saaty & Vargas (2012) mencionan que el AHP permite establecer prioridades para las diferentes alternativas considerando los criterios para calificar las diferentes alternativas, de esta forma, los autores consideran que la jerarquía se determina a partir de los criterios en términos de la importancia para lograr los objetivos, o bien elegir la mejor opción que cumpla todos los requerimientos del cliente.

Shahin & Mahbod (2007) refieren que el AHP es una técnica robusta y ampliamente usada para la toma de decisiones, la cual permite a los tomadores de decisiones medir la consistencia y estabilidad de sus decisiones; de igual manera, el propio AHP ha demostrado ser una herramienta bastante útil al momento de establecer la jerarquía entre las diferentes alternativas de proveedores.

Para realizar la jerarquización de las alternativas disponibles, en primera instancia, se debe realizar una comparación entre pares de criterios, en los cuales se determina la preferencia entre cada uno dependiendo las preferencias del objetivo del tomador de decisiones, posteriormente se evalúa cada alternativa con respecto a cada criterio seleccionado para determinar el orden en el cual se podrían elegir a los posibles proveedores. Palma (2014)

considera cinco pasos en la identificación para rediseñar los procesos en una cadena de suministro:

- 1) Comparación entre pares: el objetivo es determinar la importancia entre cada criterio, en la cual se reflejen las preferencias del tomador de decisiones
- 2) Cálculo de pesos: el método de normalización es utilizado para calcular el vector jerarquización a partir de la matriz de comparación de criterios, este vector demuestra los pesos totales relativos entre los criterios comparados
- 3) Revisión de consistencia: se calcula el índice de consistencia para comprobar la consistencia de la comparación de criterios
- 4) Síntesis jerárquica: los vectores de jerarquización calculados son integrados para una evaluación general de las alternativas
- 5) Determinar la prioridad para todas las alternativas: la alternativa con el peso de la jerarquización más alto es elegido

El AHP provee una guía que considera los criterios que reflejan las necesidades específicas para cada empresa, proyecto, cliente, etc.; de esta manera, puede ser aplicado en diferentes áreas, no solamente para elegir algún proveedor. Mohan et al. (2019) realizaron una revisión de literatura de los sistemas de medición del desempeño de las cadenas de suministro, en la que el AHP se utilizó de diferentes formas, combinando técnicas para determinar las métricas claves de desempeño en procesos de la cadena de suministro, integrando el AHP y Six Sigma para medir el desempeño de la cadena de suministro; por lo tanto, este proceso resulta de gran ayuda para el trabajo de investigación, en el cual es necesario conocer qué lugar ocupa el laboratorio con respecto a la competencia local.

2.4 INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO

Para comprobar si algún proceso o actividad dentro de una empresa está siendo realizada correctamente o a un nivel esperado, es necesario medir aspectos cuantitativos y cualitativos, que permitirán corregir o reforzar dichas actividades para mantener el correcto desempeño apegado a las necesidades de la empresa.

Los KPI permiten conocer el comportamiento del desempeño de las actividades a través del tiempo, Toor & Ogunlana (2010) hacen referencia que estos indicadores son útiles para comparar el desempeño actual y el estimado en términos de efectividad, eficiencia y calidad tanto en fuerza laboral como en productos terminados.

Los autores desarrollaron un cuestionario durante la construcción del segundo aeropuerto internacional de Bangkok, el cual fue aplicado a líderes de diferentes áreas; consideraron 9 KPI que fueron evaluados en una escala del 1 al 5, donde 1 el KPI no es tan importante y 5 es extremadamente importante, como resultado posicionaron los KPI de la siguiente forma:

- 1) Conclusión de trabajos en tiempo.
- 2) Eficiencia (uso correcto de recursos).
- 3) Dentro del presupuesto.
- 4) Seguridad.
- 5) Cumpliendo las especificaciones.
- 6) Libre de defectos (alta calidad en mano de obra).
- 7) Cumpliendo las expectativas de las partes interesadas (clientes, consumidores y contratistas).
- 8) Hacer lo correcto (efectividad).
- 9) Disminuir los agravamientos, disputas y conflictos.

Dentro del laboratorio, entregar las órdenes de trabajo en el menor tiempo posible representan una cualidad que los clientes han valorado, sin embargo, no se ha establecido como un KPI que permita monitorear si las órdenes de trabajo están siendo entregadas a tiempo.

Los operadores de referencia de la cadena de suministro (SCOR) consisten en un sistema de procesos definidos que es utilizado para estandarizar procesos relevantes para la cadena de suministro. Stadtler et al. (2015) mencionan que los procesos estandarizados son las interacciones con los clientes, transacciones físicas de materiales, interacciones de mercado, gestión de devoluciones y la habilitación de procesos. Sellito et al. (2013) considera que el SCOR consiste en atributos de desempeño estandarizados y métricas, también se encarga de evaluar la confiabilidad, capacidad de respuesta, agilidad y los costos, así, Palma (2014) hace referencia que los modelos SCOR proveen marcos de referencia comunes para las cadenas de suministro, terminología estandarizada, métricas comunes y las mejores prácticas.

Sellito et al. (2013) combinaron el modelo SCOR con el AHP lo cual permitió determinar las relaciones causales que generan que un KPI en niveles altos pueda afectar a otros indicadores. Palma (2014) realizó el mismo procedimiento, en cambio está orientado al rediseño de procesos en la cadena de suministro, mediante la combinación del SCOR junto con el AHP determinó qué proceso es mayormente susceptible a mejoras, resultando el primer nivel del SCOR considerando los KPI: cumplimiento perfecto de los pedidos, ciclo de cumplimiento de pedidos, flexibilidad de la cadena de suministro inversa, adaptabilidad de la cadena de suministro inversa y el costo de gestión de la cadena de suministro.

La gestión de la cadena de suministro está compuesta por procesos orientados a la planificación, ejecución y control de operaciones. Gunasekaran (2004) menciona que la gestión de la cadena de suministro (SCM) ha sido el mayor componente de las estrategias competitivas que mejoran la productividad organizacional y la rentabilidad; de igual forma las estrategias del SCM se dividen a nivel estratégico y operativo; en este último las medidas del desempeño y las métricas requieren tanto datos precisos como evaluar los resultados de las decisiones de los líderes de áreas.

Considerando el bajo desempeño en los desarrollos de infraestructura resulta una opción profundizar en la percepción que tienen los contratistas con respecto al servicio esperado por parte de sus clientes; de esta manera, Ogunsanmi (2013) dentro de su investigación revela como la percepción de los stakeholders (clientes, contratistas, consumidores) de KPI puede incrementar el desempeño de las asociaciones entre sectores públicos y privados, asimismo, el autor menciona que los KPI pueden ser utilizados para identificar las fortalezas y desventajas de los proyectos en la asociación de sectores públicos y privados. Debido a que el laboratorio ofrece sus servicios a través de una institución pública, se puede considerar que cada que un cliente contrata los servicios, se crea una “asociación” entre ambos sectores, por tanto, es importante medir la percepción que el cliente tiene sobre los servicios que ha contratado.

Para realizar la evaluación de las actividades es necesario contar con elementos que sean perceptibles para contabilizar, por lo que resulta necesario realizar esta evaluación de KPI de manera sistemática, Kang et al., (2016) mencionan que los sistemas de medición de desempeño (Performance Measurement Systems) consiste en un conjunto de métricas que permiten cuantificar la eficiencia y la efectividad en operaciones de manufactura, con el uso de estos sistemas primeramente los objetivos estratégicos son establecidos conforme a las

necesidades de la empresa, posteriormente cada objetivo es respaldado por un conjunto de indicadores detallados. Los KPI tienen una función crucial para comprender y mejorar del rendimiento de los sistemas.

Es importante conocer cómo los KPI pueden ser categorizados y jerarquizados, de esta forma es posible conocer las relaciones que guardan entre sí. En la figura 2.2 muestra la categorización de los KPI.

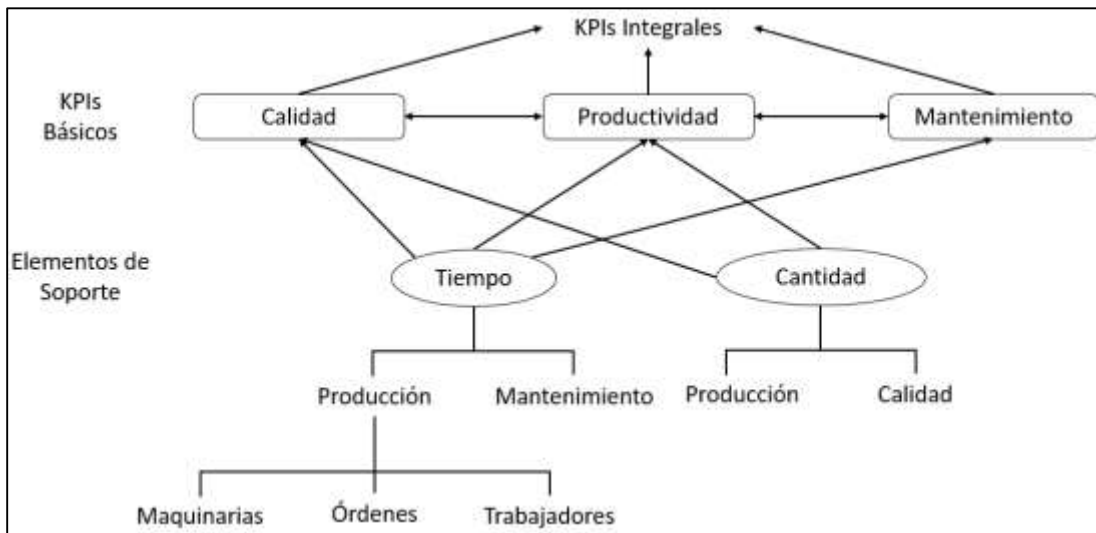


Figura 2.2 Categorización de KPI (Kang et al, 2016)

Dentro de la investigación realizada por Kang et al. (2016) hace una descripción profunda de los KPI utilizados para las diferentes categorías, al principio detalla todos los elementos de soporte: tiempo, cantidad y mantenimiento; posteriormente establece las relaciones entre cada elemento, que servirán para medir los parámetros específicos del sistema (KPI), por lo tanto, es importante establecer dentro del laboratorio todos los elementos que son susceptibles a medición y que su utilización impacta en las operaciones, de la misma forma resulta relevante establecer los KPI considerando las relaciones existentes de los elementos.

2.5 MODELOS DE SIMULACIÓN

La simulación es una herramienta que permite recrear el comportamiento de diferentes sistemas, mediante la aplicación de esta técnica se pueden establecer escenarios en los cuales se asumen diferentes criterios; De acuerdo con Guerrero (2011) en la construcción de un modelo de simulación de un sistema, se deben considerar los componentes que interactúan para producir el comportamiento que se está investigando, de esta forma es necesario conocer y delimitar los aspectos que serán contemplados para recrear el sistema que representa las acciones realizadas por el laboratorio.

El modelo de simulación permite considerar todos los aspectos bajo los cuales un sistema está siendo ejecutado, así como establecer escenarios en los que se puede proponer alguna mejora o conocer puntualmente alguna característica del sistema que necesite intervención. Morales et al. (2013) consideran que la simulación es la imitación de la operación de un sistema real en la dimensión del tiempo, también, consta de un conjunto de representaciones, expresadas como relaciones matemáticas, lógicas o simbólicas, entre las entidades que actúan en el sistema, por lo tanto, es preciso identificar de forma correcta todos los componentes que integran al sistema y conocer las relaciones que guardan entre ellos.

El comportamiento de las operaciones que se realizan en el laboratorio resulta similar a las que son realizadas en hospitales, bancos o talleres de mecanizado, de forma general, se atiende o se fabrica algún producto por estaciones enlazadas. Rouzafzoon (2016) recreó los servicios ofrecidos de un hospital en Finlandia, consideró que para medir el desempeño de los resultados en el modelo de simulación es necesario establecer KPI, el autor considera el nivel de servicio como un aspecto crítico en la administración de los hospitales. También Gómez (2008) considera que para las empresas que prestan servicios, la variable

“clientes satisfechos” es fundamental cuando se brindan productos intangibles, en especial cuando el tiempo de entrega permite generar valor agregado, en ese sentido el nivel de servicio a los clientes es igualmente fundamental para el laboratorio, por lo tanto, al aplicar la simulación también es necesario medir el desempeño a través de KPI.

Para realizar algún proceso de simulación, se requiere conocer las características, restricciones y disponibilidad de recursos del sistema, Andrés et al. (2016) consideran las siguientes variables para simular procesos en el software AnyLogic:

- Variables de flujo
- Variables de stock
- Parámetros
- Variables Auxiliares

Mediante el conocimiento de estos aspectos fundamentales propios del sistema, la simulación permitirá (Andrés et al., 2016) modelar, analizar y evaluar los procesos, así como posibles escenarios, sin necesidad de que previamente hayan existido, de forma, que sea posible compararlos; Belvárdi et al. (2012) consideran que los modelos de simulación pueden ser analizados desde los siguientes puntos de vista para:

- Estimar las salidas del sistema.
- Optimizar los procesos con base en la información obtenida.
- Calcular los KPI con base en la estimación de las variables de estado.
- Determinar cómo los KPI son afectados y al mismo tiempo como interactúan por medio de las variables de decisión.

Considerando los factores de éxito en la gestión de los proyectos, es posible conocer qué aspectos son relevantes durante la ejecución de alguno; igualmente, da un panorama para considerar los aspectos a evaluar. De esta forma, se pueden determinar indicadores que permiten conocer el estado en que se encuentra algún proceso, proyecto, área o de forma general toda una empresa. Con el AHP se puede comparar entre diferentes proveedores o empresas, y establecer el lugar que ocupan considerando criterios que son de importancia para los clientes, por último, los modelos de simulación recrean el comportamiento de diferentes sistemas, tomando en cuenta todas las actividades que son realizadas y al mismo tiempo permite evaluar los aspectos fundamentales para las diferentes áreas que se pretenden analizar. Teniendo en cuenta la literatura desarrollada por los diferentes autores con respecto a los cuatro temas anteriormente abordados, se establecen los elementos que serán necesarios recabar en el siguiente capítulo para desarrollar el tema de investigación.

CAPÍTULO 3

ELEMENTOS BÁSICOS PARA LA PROPUESTA METODOLÓGICA

Se desarrolla el análisis de datos disponibles del laboratorio correspondientes a la cantidad de presupuestos solicitados, de presupuestos confirmados (órdenes de trabajo), tipo de servicio y pruebas realizadas en un periodo de tiempo desde el año 2014 hasta el 2019. Además, se hace el análisis de tiempo requerido para realizar las diferentes pruebas para atender las órdenes de trabajo de los clientes.

3.1 RECOPIACIÓN DE DATOS

Gracias a la colaboración del laboratorio la recopilación de los datos fue facilitada, se consideran la cantidad de presupuestos (PRE) y de órdenes de trabajo (OT) desde el año 2014 al 2019, el universo de los datos comprende 1351 PRE y 557 OT, entre estos se encuentran los siete tipos de servicio que son ofertados. Los datos fueron capturados en un formato en el software de Excel, debido a su fácil manejabilidad y consulta rápida. En la tabla 3.1 se puede observar la recolección de datos del año 2014, y en el anexo A.1 se encuentra el resto de la información hasta el 2019.

Tabla 3.1 Recopilación de datos del año 2014

Año	Mes	PRE	OT
2014	Enero	33	14
	Febrero	22	10
	Marzo	23	11
	Abril	25	12
	Mayo	18	7
	Junio	22	9
	Julio	9	5
	Agosto	16	6
	Septiembre	17	4
	Octubre	23	15
	Noviembre	18	9
	Diciembre	7	4
	Total	233	106

Fuente: Elaboración propia. Datos aportados por el laboratorio

3.2 CATEGORIZACIÓN DE DATOS

Mediante la categorización de los datos es posible obtener información relacionada al tipo de servicios que son más solicitados, la cantidad de órdenes atendidas de forma mensual y semanalmente, así como información de relevancia para realizar el análisis de datos.

La categorización comprende:

- Tipo de PRE
 - Acero – AC
 - Concreto asfáltico – CAS
 - Concreto hidráulico – CHA
 - Elementos prefabricados – EP
 - Geotecnia – GA
 - Topografía – TOP
 - Múltiples – MULTI
- Tipo de OT
- Fecha de PRE
- Fecha de OT
- Ubicación del cliente (colonia, municipio y estado)
- Ubicación del muestreo (colonia, municipio y estado)

3.3 ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de datos permite considerar aspectos que están ocurriendo dentro del laboratorio en un intervalo de tiempo específico, este se fijó en periodos mensuales ya que es posible reconocer algunos comportamientos que son de interés para plantear parámetros que serán utilizados en los capítulos 4 y 5. En la tabla 3.2 como ejemplificación, se muestra la cantidad de PRE, las OT por tipo de servicio (presupuestos confirmados) y el porcentaje de

confirmación durante el año 2014, en el anexo A.2 se encuentran las tablas correspondientes para los años 2015 al 2019.

Tabla 3.2 Total de PRE, OT y porcentaje de confirmación del año 2014

MES	PRE AC	OT AC	PRE CAS	OT CAS	PRE CHA	OT CHA	PRE EP	OT EP	PRE GA	OT GA	PRE TOP	OT TOP	PRE MULTI	Total PRE	Total OT	% de CONF
Ene	1	1	0	0	7	3	0	0	24	9	1	1	0	33	14	42.42
Feb	1	1	0	0	2	2	2	2	16	5	1	0	0	22	10	45.45
Mar	0	0	0	0	2	2	1	0	15	5	2	2	3	23	11	47.83
Abr	3	2	2	1	4	1	0	0	14	7	0	0	2	25	12	48.00
May	0	0	1	0	2	1	1	1	12	5	0	0	2	18	7	38.89
Jun	0	0	2	1	4	2	0	0	13	5	1	0	2	22	9	40.91
Jul	0	0	0	0	2	1	0	0	7	4	0	0	0	9	5	55.56
Ago	0	0	0	0	0	0	1	1	15	5	0	0	0	16	6	37.50
Sep	1	0	1	0	1	1	0	0	14	3	0	0	0	17	4	23.53
Oct	1	0	1	1	4	3	3	3	13	7	1	1	0	23	15	65.22
Nov	0	0	0	0	3	2	1	1	13	5	1	1	0	18	9	50.0
Dic	0	0	0	0	1	1	0	0	5	3	0	0	1	7	4	57.14
Total	7	4	7	3	32	19	9	8	161	63	7	5	10	233	106	45.49

Fuente: Elaboración propia. Datos aportados por el laboratorio

En la tabla 3.3 se puede observar de forma general la cantidad de PRE recibida y la cantidad de OT confirmadas de manera mensual durante los años 2014 al 2019, también se considera el porcentaje de confirmación.

Tabla 3.3 Total de presupuestos, órdenes de trabajo y porcentaje de confirmación del año 2014 al 2019

Mes	Año																	
	2014			2015			2016			2017			2018			2019		
	PRE	OT	% CONF	PRE	OT	% CONF	PRE	OT	% CONF	PRE	OT	% CONF	PRE	OT	% CONF	PRE	OT	% CONF
Ene	33	14	42.42	23	11	47.83	15	10	66.67	15	7	46.67	13	5	38.46	16	7	43.75
Feb	22	10	45.45	12	12	100.0	31	11	35.48	20	5	25.00	27	7	25.93	18	10	55.56
Mar	23	11	47.83	18	6	33.33	16	8	50.00	17	7	41.18	4	2	50.00	19	6	31.58
Abr	25	12	48.00	30	7	23.33	19	12	63.16	20	8	40.00	27	8	29.63	26	16	61.54
May	18	7	38.89	17	8	47.06	20	11	55.00	26	14	53.85	26	8	30.77	13	4	30.77
Jun	22	9	40.91	36	10	27.78	57	12	21.05	22	11	50.00	23	8	34.78	17	6	35.29
Jul	9	5	55.56	12	11	91.67	10	4	40.00	10	5	50.00	9	6	66.67	11	3	27.27
Ago	16	6	37.50	23	10	43.48	21	13	61.90	16	10	62.50	14	4	28.57	19	10	52.63
Sep	17	4	23.53	13	8	61.54	28	10	35.71	15	4	26.67	18	2	11.11	20	10	50.00
Oct	23	15	65.22	26	9	34.62	16	11	68.75	12	2	16.67	21	6	28.57	15	7	46.67
Nov	18	9	50.00	15	7	46.67	8	4	50.00	12	1	8.33	15	1	6.67	16	8	50.00
Dic	7	4	57.14	15	10	66.67	10	4	40.00	12	2	16.67	4	3	75.00	7	3	42.86
Total	233	106	45.49	240	109	45.42	251	110	43.82	197	76	38.58	201	60	29.85	197	90	45.69

Fuente: Elaboración propia. Datos aportados por el laboratorio

En la figura 3.1 se muestra el comportamiento de los PRE y las OT para los años 2014 al 2019

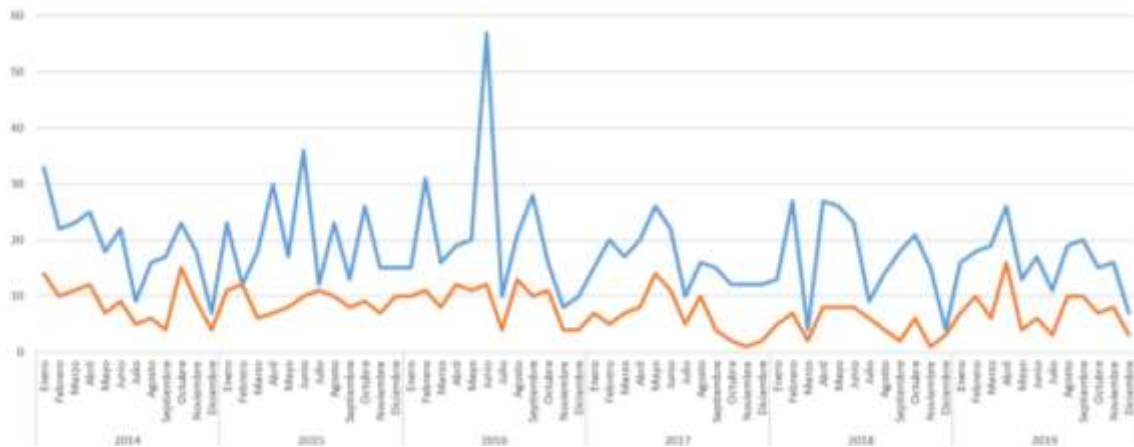


Figura 3.1 Comparativa de PRE solicitados vs OT del 2014 al 2019

Fuente: Elaboración propia. Datos aportados por el laboratorio

La línea azul representa la cantidad de PRE recibidos durante cada mes para los seis años, la línea color naranja indica las OT que fueron confirmadas para cada mes en el mismo periodo de tiempo analizado, como se puede observar la línea naranja se encuentra por

debajo de los PRE solicitados, dentro de los objetivos del laboratorio es, reducir la brecha que existe entre ambas líneas, el espacio que existe entre estas, es considerado como todos aquellos PRE que quedaron en posibilidad de ser confirmados.

También, se puede observar que existe estacionalidad para los meses de enero, julio y diciembre, esto concuerda con los periodos de descanso que considera el laboratorio, en el mes de junio del año 2016 se presenta un comportamiento atípico en la cantidad de solicitud de PRE siendo casi 60, para la cantidad de OT pareciera que conserva una tendencia o bien su comportamiento es estable.

La figura 3.2 muestra la preferencia promedio de solicitud de tipo de servicios de los clientes para los años 2014 al 2019

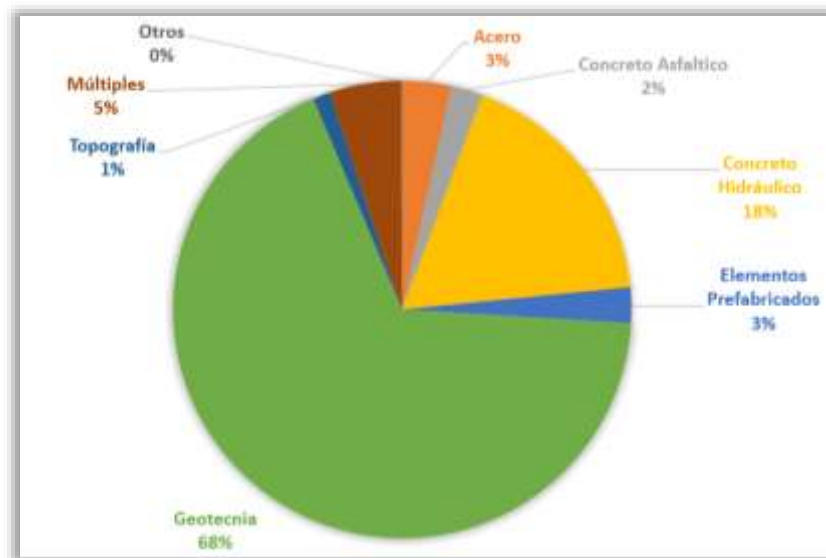


Figura 3.2 Preferencia de solicitud promedio de los servicios para el año 2014 al 2019
Fuente: Elaboración propia. Datos aportados por el laboratorio

A partir de esta figura se denota una clara preferencia de los servicios de GA debido a que abarcan más de la mitad de la solicitud de los servicios solicitados, el segundo lugar lo ocupan los servicios de CHA ya que representan el 18% del total, los procedimientos para

estas pruebas están acreditados ante la EMA. En tercer lugar, se encuentran los servicios MULTI con un 5%, la característica principal de este tipo consiste en que los PRE incluyen más de un tipo de servicio, por lo tanto, puede ser una combinación de los seis servicios ofertados.

Considerando que los procedimientos acreditados corresponden a los servicios de GA y CHA, se puede inferir que una correcta intervención permitirá aumentar la solicitud de estos tipos de servicios, garantizando la calidad en la ejecución de las pruebas.

Mediante el análisis de datos se pudo determinar que no solamente de forma local se solicitan presupuestos, sino que el laboratorio también es considerado en diferentes entidades, en la figura 3.3 se observan los estados que solicitaron presupuestos durante el periodo de tiempo analizado

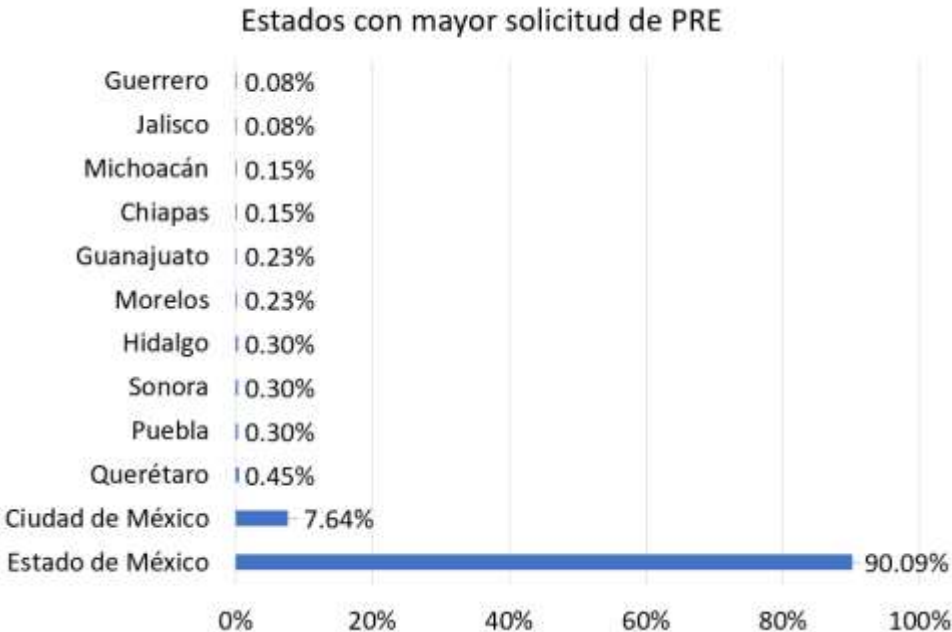


Figura 3.3 Estados que solicitaron PRE durante el 2014 – 2019
Fuente: Elaboración propia. Datos aportados por el laboratorio

Las principales entidades como clientes se ubican en el Estado de México y la Ciudad de México, sin embargo, el laboratorio tiene presencia en once entidades más, lo cual es un indicativo para mantener o ampliar la expansión de los servicios que actualmente son ofrecidos, así mismo, se observó que de los 125 municipios del Estado de México (Gobierno del Estado de México, [EDOMÉX], 2017) 64 han solicitado PRE al laboratorio, de estas entidades se calculó la distancia que hay con respecto a las instalaciones actuales comparado con las anteriores, resultando que el 75% se encuentran más cercanas a la ubicación previa, en el anexo A.3 se encuentran estas tablas.

Los datos disponibles de PRE y OT de los años del 2014 al 2019 fueron analizados considerando el valor medio de los 6 años por cada tipo de servicio. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 3.4, con estos resultados se establecieron las bases necesarias que serán utilizadas en el proceso de simulación del capítulo 4.

Tabla 3.4 Preferencia de servicio media

MES	AC	CAS	CHA	EP	GA	TOP	MULTI	Otros	Total
Ene	3.10%	0.00%	18.40%	1.00%	73.50%	2.00%	2.00%	0.00%	100.00%
Feb	5.90%	0.00%	14.70%	2.90%	69.60%	2.00%	4.90%	0.00%	100.00%
Mar	0.00%	0.00%	17.10%	4.90%	62.20%	3.60%	12.20%	0.00%	100.00%
Abr	14.40%	1.70%	20.30%	3.40%	53.40%	1.70%	5.10%	0.00%	100.00%
May	0.00%	4.30%	18.30%	2.20%	71.00%	0.00%	3.20%	1.00%	100.00%
Jun	2.00%	4.60%	15.90%	1.30%	71.50%	0.70%	4.00%	0.00%	100.00%
Jul	0.00%	4.00%	20.00%	0.00%	70.00%	0.00%	6.00%	0.00%	100.00%
Ago	1.20%	3.30%	13.30%	2.20%	70.00%	1.10%	8.90%	0.00%	100.00%
Sep	1.20%	1.20%	25.90%	1.10%	70.60%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
Oct	3.30%	1.00%	17.80%	5.60%	65.60%	1.10%	5.60%	0.00%	100.00%
Nov	3.20%	0.00%	19.40%	3.20%	67.70%	1.70%	4.80%	0.00%	100.00%
Dic	2.00%	8.00%	12.00%	2.00%	70.00%	0.00%	6.00%	0.00%	100.00%

Fuente: Elaboración propia. Datos aportados por el laboratorio

Dentro del comportamiento de las operaciones que se realizan en el laboratorio también se deben considerar tres aspectos: 1) cantidad de presupuestos que pueden llegar en un día, 2) días transcurridos entre cada presupuesto y 3) el tiempo que tarda un cliente en confirmar

un PRE, estos puntos deben ser considerados para replicar correctamente el sistema real, en las tablas 3.5 y 3.6, así como en la figura 3.4 se ejemplifica dicho análisis.

Tabla 3.5 Probabilidad de cantidad de PRE

Enero 2014		
PRE	Frec.	Probabilidad de PRE
0	16	51.61%
1	7	22.58%
12	4	12.90%
3	1	3.23%
5	3	9.68%
Total	31	100.00%

Fuente: Elaboración propia. Datos aportados por el laboratorio

Tabla 3.6 Probabilidad de días transcurridos entre presupuestos

Enero		
Días entre presupuestos	Frec.	% Probabilidad
0	54	49.54%
1	23	21.10%
2	10	9.17%
3	7	6.42%
4	9	8.26%
5	3	2.75%
6	2	1.83%
7	1	0.92%
Total	109	100.00%

Fuente: Elaboración propia. Datos aportados por el laboratorio

autofit of distributions			
distribution	rank	acceptance	aicc prob
Exponential(0, 28.8)	96	do not reject	1
Lognormal(-2.4, 3.06, 0.918)	72	do not reject	0.265
Normal(28.8, 28.8)	3.96	do not reject	0
Uniform(0, 147)	0	reject	0

Figura 3.4 Distribución para el tiempo que tarda la confirmación (GA – Enero)

El cálculo de las distribuciones de probabilidad para el tiempo de confirmación, como el de la figura 3.4 para el servicio de geotecnia del mes de enero, se realizó con el software Stat::Fit® en su versión 3.0, ya que permite ajustar los datos a una distribución discreta o continua de una forma sencilla, asimismo, para los meses y servicios en los cuales no se contaba con suficiente información para ajustarla a alguna distribución, se consideró la

probabilidad del tiempo de confirmación. En la tabla 3.7 se observa la probabilidad en el tiempo de confirmación para el servicio de geotecnia (GA) del mes de febrero.

Tabla 3.7 Probabilidad de tiempo de confirmación (GA - febrero)

Días	PRE Confirmados	Probabilidad
0	1	12.50%
1	4	50.00%
4	1	12.50%
18	1	12.50%
27	1	12.50%
Total	8	100.00%

Fuente: Elaboración propia. Datos aportados por el laboratorio

Para realizar el análisis de tiempos y movimientos, es necesario contar con mediciones del tiempo de ejecución de cada prueba correspondiente, para comenzar a establecer los parámetros del procesamiento de las órdenes de trabajo, se diseñó una encuesta que será aplicada a los técnicos laboratoristas, en este formato consideran todos los procesos. El personal deberá completar los datos requeridos considerando el tiempo necesario para realizar dicha prueba, este formato se encuentra en el anexo A.4.

Con la recopilación, categorización y análisis de datos es posible establecer las bases necesarias para continuar con el desarrollo de la metodología, los resultados logrados en esta sección son fundamentales, ya que forman parte de los parámetros bajo los cuales se ejecutará el modelo de simulación, posteriormente se plantearán escenarios para mejorar la atención en las OT y en consecuencia el nivel de servicio.

CAPÍTULO 4

ESTABLECIMIENTO DE INDICADORES, MODELACIÓN, IMPLEMENTACIÓN, VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN

Se establecen los KPI necesarios para determinar el estado en que se encuentra el laboratorio, de acuerdo con el capítulo 2, se desarrolla el modelo de simulación que permitirá recrear el comportamiento de las órdenes de trabajo que llegan al laboratorio considerando los datos del capítulo 3, posteriormente se realiza la implementación de este modelo para verificar que los datos obtenidos no difieran con los reales. Los resultados logrados dentro de esta sección permitirán establecer las bases para efectuar los experimentos computacionales del capítulo 5.

4.1 ESTABLECIMIENTO DE LOS KPI

Para determinar si el laboratorio está logrando el nivel de servicio esperado, se establecieron KPI que permiten evaluar el desempeño, considerando principalmente la atención de las órdenes de trabajo, estos indicadores fueron establecidos de acuerdo con Kang (2016) el cual menciona que para establecer los KPI primero es necesario detallar los elementos de soporte. Para el trabajo de investigación se ha considerado el tiempo y la cantidad, en primera instancia el periodo de evaluación se estableció de 30 días (tiempo) de forma mensual y posteriormente la cantidad de órdenes de trabajo (OT) que son atendidas en este lapso de tiempo; igualmente, Kang (2016) establece las relaciones que guardan estos elementos de soporte, por lo tanto, para determinar los KPI se consideró la relación que hay entre el periodo de tiempo a evaluar con respecto a las órdenes de trabajo confirmadas, las pendientes por confirmar, las atendidas en tiempo y las que están en

proceso de atención. En la tabla 4.1 se muestran estos KPI, se han designado las siguientes abreviaturas:

- | | |
|--|--|
| %CS: Porcentaje de confirmación por servicio (1) | %CT: Porcentaje de confirmación total (4) |
| OTPC: Órdenes de trabajo por confirmar (2) | OA: Órdenes atendidas (5) |
| %OTPC: Porcentaje de órdenes de trabajo por confirmar (3) | OEA: Órdenes en atención (6) |
| | %OA: Porcentaje de órdenes atendidas (7) |
| | WIP: Trabajo en proceso (8) |

Tabla 4.1 KPI para evaluar el desempeño

KPI	Cálculo
% de confirmación por servicio (1)	$\%CS = \text{PRE Confirmados} / \text{PRE Recibidos}$
Órdenes de trabajo por confirmar (2)	$OTPC = \text{Total de órdenes de trabajo por confirmar}$
% Órdenes de trabajo por confirmar (3)	$\%OTPC = \text{órdenes de trabajo por confirmar} / \text{PRE Recibidos}$
% de confirmación total (4)	$\%CT = \text{PRE Totales Confirmados} / \text{PRE Totales Recibidos}$
Órdenes atendidas (5)	$OA = \text{Total de órdenes atendidas}$
Órdenes en atención (6)	$OEA = \text{Total de órdenes en proceso}$
% de órdenes atendidas (7)	$\%OA = \text{Órdenes atendidas} / \text{Órdenes en el sistema}$
Trabajo en proceso (WIP) (8)	$WIP = \text{Órdenes en atención} / \text{Órdenes en el sistema}$

Fuente: Elaboración propia

Para el KPI %CS, se considera la cantidad total de presupuestos recibidas para un tipo de servicio específico entre la cantidad de presupuestos que se confirmaron (OT) para dicho servicio, de esta manera se calcula la proporción de presupuestos confirmados para cada servicio, de la misma forma se procesa para calcular el KPI %CT, la diferencia se encuentra que para este indicador se considera la totalidad de los presupuestos para todos los tipos de servicio, por lo tanto, se obtiene un porcentaje de confirmación general.

El indicador OTPC, contabiliza las OT por tipo de servicio que no han sido confirmadas por los clientes, el %OTPC muestra la porción de los PRE recibidos que aún están proceso de

ser aceptados por los clientes, estas OT no ingresan el sistema, sin embargo, permite a los administradores del laboratorio considerar acciones para reducir este tiempo o disminuir el porcentaje.

Para los KPI OA y OEA, solamente se contabilizan el total de órdenes atendidas y aquellas que aún están en proceso de atención, para el KPI %OA, se calculan todas las órdenes que entraron al laboratorio y se obtiene una proporción considerando las órdenes que fueron atendidas, de esta forma se puede saber cuántas órdenes están siendo atendidas correctamente en el tiempo de evaluación determinado, por el contrario, el KPI WIP, calcula la porción de órdenes que aún se encuentran en proceso de atención.

Es importante mencionar que, el tiempo de evaluación establecido se consideró de 30 días o bien de manera mensual, ya que en este tiempo es posible observar aquellas afectaciones que sufre el desempeño del laboratorio, también permite realizar las acciones correctivas necesarias para mantener el nivel de servicio y desempeño en los niveles deseados.

4.2 POSICIONAMIENTO DEL LABORATORIO EN EL MERCADO (AHP)

Conocer las necesidades reales de los clientes permite considerar aspectos que son importantes para ellos, para lograr este objetivo se diseñó una encuesta que se envió a los clientes del laboratorio mediante un formato sencillo en la plataforma de Google Forms, en la cual se consideraron cuatro criterios principales: el tiempo, costo, certificaciones y atención, estos servirán para establecer los parámetros bajo los cuales se realizará la evaluación del AHP; además, se evaluaron sub-criterios para cada uno de estos, en la figura 4.1 se muestran, y en el anexo A.5 se encuentra la estructura base del formulario y los resultados de esta encuesta.



Figura 4.1 Criterios y sub-criterios para realizar AHP
Fuente: Elaboración propia

Con el objetivo de determinar la posición en la que el laboratorio se encuentra con respecto a la competencia local, se identificaron los competidores directos que se localizan actualmente en el área donde se desarrolla el trabajo de investigación, existen trece laboratorios que realizan pruebas para materiales de construcción, sin embargo, no todos cuentan con alguna acreditación o certificación que avale la calidad de los procedimientos, por esta razón es necesario establecer criterios que reflejen las necesidades de los clientes, y bajo estos aspectos posicionar el laboratorio.

Para realizar este proceso se solicitó una prueba de geotecnia (mecánica de suelos), en un terreno de 120 m² para una construcción de 105 m², se contactó a los laboratorios vía telefónica y posteriormente por medio de correo electrónico, en esta etapa se consideró la fecha de solicitud del presupuesto, así como la fecha de respuesta para determinar el tiempo de respuesta por cada competidor.

A continuación, se evaluó el costo que ofrece cada uno, el tiempo de entrega de resultados y si cuentan con alguna acreditación, por último, se esperó durante dos semanas más para conocer si dan seguimiento a las solicitudes.

De los trece competidores considerados solamente respondieron seis, todos fueron contactados vía telefónica y por correo electrónico, el tiempo promedio de respuesta aproximado es de un día, el tiempo de entrega de resultados tarda alrededor de trece días, y de los seis competidores, cuatro cuentan con acreditación.

Primero se realizó la comparación de los criterios considerados para establecer la jerarquía entre estos, resultando en orden descendente: 1) Acreditaciones = 0.461, 2) Costo de la prueba = 0.291, 3) Tiempo de entrega de resultados = 0.084, 4) Respuesta de contacto = 0.063, 5) Tiempo de respuesta de solicitud de servicios = 0.053 y 6) Seguimiento a solicitudes = 0.048; se obtuvo una relación de consistencia de 0.092.

Mediante la comparación de los criterios con respecto a cada proveedor se realizó la evaluación de los competidores, considerando los datos recolectados a partir de la solicitud de servicios a cada uno, Posteriormente se elaboró la matriz de comparación de criterios entre cada opción de laboratorio obteniendo los siguientes resultados:

- 1) Competidor 1 = 0.191 (laboratorio del trabajo de investigación)
- 2) Competidor 6 = 0.177
- 3) Competidor 5 = 0.175
- 4) Competidor 11 = 0.161
- 5) Competidor 3 = 0.153
- 6) Competidor 2 = 0.143

De esta forma se puede observar que el laboratorio cuenta con dos ventajas principales: la acreditación y el costo que ofrece; también, cuenta con áreas de oportunidad que son susceptibles a mejorar y podrían reafirmarlo en su primer lugar.

4.3 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL LABORATORIO

Actualmente el laboratorio cuenta con dos tipos de recursos para atender las órdenes de trabajo: el capital humano e infraestructura para realizar las pruebas correspondientes, junto con los instrumentos; de esta forma, se cuenta con 6 áreas las cuales corresponden para los tipos de servicios ofrecidos (Acero, Concreto Hidráulico, Concreto Asfáltico, Elementos Prefabricados, Geotecnia y Topografía), a continuación, se describen las características para ambos tipos de recursos.

4.3.1 Capital Humano

La plantilla del personal del laboratorio encargado de realizar las pruebas está compuesta por cinco trabajadores, la mayoría cuentan con experiencia de más de 15 años, además cuentan con certificaciones que acreditan que los trabajadores poseen las capacidades necesarias para realizar las pruebas de acuerdo con las normas correspondientes.

Los trabajadores son evaluados y capacitados constantemente con la finalidad de identificar las áreas de oportunidad, lo que permite reforzar aquellas pruebas que presentan mayor dificultad para los laboratoristas. Cada año los trabajadores participan en ensayos de aptitud con diferentes laboratorios, lo que permite observar áreas de mejora y fortalecer las acciones para lograr los resultados esperados.

4.3.2 Herramientas y equipo

El laboratorio cuenta con herramental y equipo especializado para cada tipo de prueba por cada tipo de servicio, estos instrumentos están de acuerdo a la normativa correspondiente de cada una, por ejemplo, la norma mexicana NMX-C-416-2003 CAPITULO 5 menciona el método de prueba para determinar el análisis granulométrico (ONNCCE, 2003) dentro de

las secciones se enlistan el equipo, aparatos e instrumentos, así mismo, las especificaciones de algunos de estos, para la prueba anteriormente mencionada se necesitan los siguientes elementos:

- Balanza con capacidad de 20 kg con exactitud de 1 g
- Balanza con capacidad de 2,160 g con exactitud de 0.1 g
- Mallas (desde 2" hasta No. 200)
- Charolas metálicas, resistentes y con dimensiones suficientes para manipular la muestra
- Horno de secado de tamaño apropiado y capaz de mantener una temperatura constante de $383\text{ K} \pm 5\text{ K}$ ($110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$)
- Cucharón metálico resistente, no absorbente y con dimensiones suficientes para manipular la muestra
- Desecador de cristal

También los equipos son calibrados de forma anual, lo que garantiza que las pruebas son realizadas con estricto apego a las normas correspondientes, de igual manera, las herramientas son verificadas anualmente y si presentan algún daño o requieren reparación, son reemplazadas o se les da mantenimiento para que puedan seguir siendo utilizadas.

4.3.3 Instalaciones

El laboratorio cuenta con una infraestructura suficiente para poder llevar a cabo todos los servicios que ofrece, dentro del espacio existen diferentes áreas que están destinadas para realizar las pruebas que son solicitadas, en este sentido cuentan con una red eléctrica

suficiente para operar las máquinas, asimismo, tiene un suministro de emergencia que garantiza continuar con las operaciones.

Las áreas del laboratorio están diseñadas para la instalación del equipo utilizado para las pruebas de los seis tipos de servicio que ofrecen. Existen pruebas que requieren el uso de agua, para estas actividades se habilitó una red hidráulica que permite realizarlas con mayor facilidad, así como la limpieza y mantenimiento del equipo y herramienta que son utilizadas en los muestreos y las pruebas que son efectuadas.

4.4 MODELACIÓN PARA DETERMINAR EL RENDIMIENTO DEL LABORATORIO

Mediante la experiencia de los trabajadores se pueden realizar estimaciones con respecto a la cantidad de órdenes de trabajo que pueden ser atendidas, también el tiempo necesario para llevar a cabo ciertos trabajos, además dependiendo de la localización del muestro, los trabajadores hacen una proyección de la duración en la atención de la orden de trabajo, de esta forma se puede estimar la cantidad de trabajadores que son requeridos para atender ciertas órdenes.

De forma empírica los trabajadores conocen aspectos que son necesarios para desarrollar el modelo de simulación, tienen conocimiento del tiempo y recursos necesarios para realizar de forma correcta los servicios contratados, por ejemplo, para una prueba de perforación estándar (Standar Perforation Test, SPT) a quince metros de profundidad, que corresponde a los servicios de geotecnia, es necesario al menos tres personas, lo cual toma aproximadamente doce días en realizarse, considerando el muestreo, análisis en sitio y realización de pruebas, sin embargo, con la incorporación de un elemento más (cuatro personas) el tiempo de servicio puede reducirse a nueve días, de esta forma si el trabajo

requiere una atención más pronta, se puede destinar una mayor cantidad de recursos. En la tabla 4.2 se observa esta estimación:

Tabla 4.2 Estimación de uso de recursos para una perforación estándar a 15 metros

Prueba	SPT 15 metros	
Personal	3	4
Tiempo de muestreo (días)	7	5
Tiempo de análisis de muestras (días)	5	4
Elaboración de informe (días)	1	1
Total	13	10

Fuente: Elaboración propia

De esta forma el tiempo de atención se reduce en tres días o bien en un 23.07%, lo cual para los clientes que requieren de un servicio con mayor rapidez, realizar un ajuste en los recursos disponibles permitiría ofrecer los servicios con la misma calidad, cuidando que las pruebas sean realizadas con apego a las normativas correspondientes.

Para desarrollar el modelo de simulación que permite recrear el sistema bajo el cual opera el laboratorio, fue necesario recabar información relacionada directamente del propio laboratorio, y con la experiencia del personal se determinó que el laboratorio trabaja en estaciones, en primera instancia y de forma general se considera el muestreo de cualquier tipo de prueba, a continuación la preparación de estas muestras, posteriormente la realización de las pruebas y por último la elaboración del informe de resultados. A partir de estos procesos, se formuló la estructura básica del modelo, sin embargo, para su implementación es necesario recopilar información que establezca medidas básicas para determinar el comportamiento del sistema a lo largo de un año operativo.

4.5 IMPLEMENTACIÓN

De acuerdo al punto anterior se consideraron cuatro procesos básicos en la ejecución de las pruebas, sin embargo, las entradas al sistema de acuerdo con la experiencia de los trabajadores, solamente se conocen los periodos de estacionalidad en la que se presenta una mayor carga de trabajo, por esta razón, es necesario desarrollar un análisis detallado sobre los datos históricos disponibles para así tener un panorama específico sobre el comportamiento de los presupuestos (PRE) que ingresan al laboratorio, la cantidad de presupuestos que ingresan al sistema como órdenes de trabajo (OT), la preferencia de los servicios y otros aspectos que aportan para la comprensión del sistema.

Para llevar a cabo la implementación del modelo es necesario conocer estos aspectos fundamentales:

- La cantidad de presupuestos (PRE) que pueden llegar dependiendo del mes.
- El tiempo que tardan en llegar los presupuestos (PRE), visto de otra forma, ¿cuánto tiempo tarda en llegar cada presupuesto? (considerado en días).
- La preferencia por tipo de servicio de acuerdo con el mes, este punto se refiere a que, dependiendo el mes, la preferencia por los servicios que ofrece el laboratorio puede variar.
- La probabilidad de confirmación por cada tipo de servicio, igualmente como en el punto anterior, conforme el mes que se esté analizando la confirmación de los servicios puede ser diferente.

A partir de estos conceptos y considerando los datos históricos disponibles (desde año 2014 al 2019) se determinaron los parámetros bajo los cuales el modelo puede replicar de una

forma más cercana al sistema real, así el modelo se estructuró de la siguiente forma: en la figura 4.2 se muestra la estructura general bajo la cual se propuso el modelo de simulación:

- 1) **Entradas:** en primera instancia, con la recolección y análisis de datos del capítulo 3, se determinan las bases para generar las entradas al sistema.
- 2) **Procesamiento:** mediante el apoyo y experiencia de los trabajadores, así como la aplicación de la normativa correspondiente, se establece el tiempo de servicio requerido para realizar las pruebas y atender las órdenes de trabajo.
- 3) **Salidas:** por último, se establecen y evalúan las métricas propuestas para determinar el estado del laboratorio

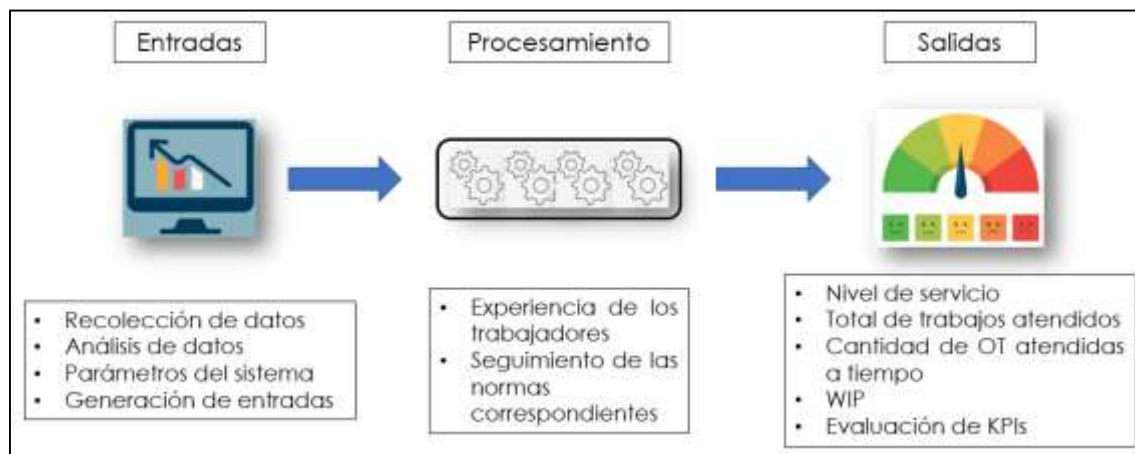


Figura 4.2 Estructura inicial del modelo de simulación
Fuente: Elaboración propia

4.5.1 Parámetros del sistema

Para la ejecución del proceso de simulación fueron considerados los datos analizados en la sección 3.3, estos resultados generan distribuciones de probabilidad y distribuciones continuas, que dependiendo el aspecto que se quiere replicar, tienen un valor diferente.

En la Tabla 3.3, se considera el valor medio para la selección de tipo de servicio durante cada mes, de esta forma, existe una probabilidad del 73.5% que los PRE sean del tipo GA, de CHA el 18.4%, de AC el 3.1%, de TOP y MULTI el 2%, de EP el 1.0% y de CAS el 0.0%

La Tabla 3.4, toma en cuenta la cantidad de PRE que pueden llegar en un día, esto indica que existe una probabilidad del 51.61% de que no llegue ningún presupuesto, el 22.58% que llegue un solo PRE, el 12.90% que se reciban dos PRE, 3.23% que lleguen tres PRE y 9.68% que se presenten cinco PRE.

La Tabla 3.5 considera la probabilidad que, transcurran desde ningún día entre cada presupuesto hasta que tarde una semana completa para recibir el siguiente, de tal forma que, la probabilidad de que no pase un día hasta recibir el siguiente PRE es del 49.54%, que transcurra un día del 21.10%, que pasen dos días 9.17%, tres días el 6.42%, cuatro días 8.26%, cinco días 2.75%, 6 días 1.83% y una semana completa del 0.92%.

En la Figura 3.3 se muestra la distribución continua que sigue el retraso que existe en el tiempo que tarda un cliente en confirmar una OT, de esta forma se elige la distribución que tiene un mejor ranking y no rechaza el ajuste.

Todos estos parámetros son considerados de forma particular para cada mes, esto con la finalidad de replicar el comportamiento del proceso de llegadas de OT al laboratorio a lo largo de un año operativo, a continuación, en las tablas 4.3 a la 4.5 se muestran los parámetros considerados. En la tabla 4.6 se observa el parámetro para el tiempo de confirmación de enero, el resto de las tablas se ubican en el anexo A.6.

Tabla 4.3 Probabilidad discreta para la cantidad de PRE por mes

Probabilidad	Valores (PRE)	Porcentaje (%)
Cantidad PRE ENE	012357	67.20/15.59/10.75/4.30/1.61/0.54
Cantidad PRE FEB	0123456	55.03/23.67/15.38/2.96/1.78/0.59/0.59
Cantidad PRE MAR	0123458	70.97/17.20/5.38/4.30/0.54/1.08/0.54
Cantidad PRE ABR	01234567910	47.93/30.58/4.96/4.96/4.96/1.65/0.83/0.83/0.83/2.48
Cantidad PRE MAY	01234	65.05/16.67/8.60/8.06/1.61
Cantidad PRE JUN	012345630	56.67/18.33/15.00/6.11/2.22/0.56/0.56/0.56
Cantidad PRE JUL	012347	80.11/11.83/5.91/1.08/0.54/0.54
Cantidad PRE AGO	01234	61.83/22.58/11.29/3.76/0.54
Cantidad PRE SEP	012345	65.00/18.33/10.00/4.44/1.11/1.11
Cantidad PRE OCT	0123456	70.43/13.44/8.60/2.69/2.69/1.61/0.54
Cantidad PRE NOV	012345	72.22/18.89/3.33/2.78/1.11/1.67
Cantidad PRE DIC	012345	84.81/7.53/4.84/1.08/1.61/0.54

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Tabla 4.4 Probabilidad discreta para días entre PRE por mes

Probabilidad	Valores (días)	Porcentaje (%)
Días entre PRE ENE	0 1 2 3 4 5 6 7	49.54 / 21.10 / 9.17 / 6.42 / 8.26 / 2.75 / 1.83 / 0.92
Días entre PRE FEB	0 1 2 3 4 5 7	41.54 / 30.77 / 6.92 / 8.46 / 8.46 / 2.31 / 1.54
Días entre PRE MAR	0 1 2 3 4 5 6 7 8 13 17	44.90 / 18.37 / 10.20 / 5.10 / 7.14 / 6.12 / 4.08 / 1.02 / 1.02 / 1.02 / 1.02
Días entre PRE ABR	0 1 2 3 4 5 6 7 9 10	47.93 / 30.58 / 4.96 / 4.96 / 4.96 / 1.65 / 0.83 / 0.83 / 0.83 / 2.48
Días entre PRE MAY	0 1 2 3 4 5 6 7 12	45.83 / 23.33 / 7.50 / 3.33 / 6.67 / 5.0 / 4.17 / 3.33 / 0.83
Días entre PRE JUN	0 1 2 3 4 5 6 8	55.93 / 24.29 / 4.52 / 4.52 / 6.21 / 2.26 / 1.69 / 0.56
Días entre PRE JUL	0 1 2 3 4 5 7 11 16	39.34 / 21.31 / 6.56 / 9.84 / 6.56 / 8.20 / 4.92 / 1.64 / 1.64
Días entre PRE AGO	0 1 2 3 4 5 6 7 10 17 18 22	37.86 / 37.61 / 4.59 / 4.59 / 5.50 / 3.67 / 2.75 / 0.92 / 1.83 / 0.92 / 1.83 / 0.92
Días entre PRE SEP	0 1 2 3 4 5 6 7 8 10 14	43.24 / 23.42 / 7.21 / 7.21 / 4.50 / 4.50 / 3.60 / 0.90 / 2.70 / 1.80 / 0.90
Días entre PRE OCT	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	51.33 / 19.47 / 4.42 / 6.19 / 5.31 / 3.54 / 2.65 / 4.42 / 0.88 / 0.88 / 0.88
Días entre PRE NOV	0 1 2 3 5 6 7 8 11 12	40.48 / 21.43 / 8.33 / 4.76 / 8.33 / 5.95 / 5.95 / 1.19 / 2.38 / 1.19
Días entre PRE DIC	0 1 2 3 4 5 6 7 9 10	49.23 / 6.15 / 7.69 / 9.23 / 3.08 / 3.08 / 4.62 / 6.15 / 6.15 / 4.62

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Tabla 4.5 Probabilidades para retraso en el tiempo de confirmación (Enero)

Delay tiempo de confirmación PRE Enero			
Distribución	Tipo	Datos (días)	Valores
Acero (AC)	Probabilidad	0 3 4 5 11 14 15 18	0.083 0.042 0.042 0.083 0.042 0.083 0.042
		25 28 41 44 54 71	0.042 0.042 0.082 0.042 0.291 0.042 0.042
Concreto Asfáltico (CAS)		0 1 2 3 4 7 8 12	0.234 0.059 0.059 0.059 0.059 0.117 0.059
		14 24 27 36 58	0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059
Concreto Hidráulico (CHA)		0 1 2 3 4 5 16 25	0.23 0.154 0.154 0.154 0.077 0.077 0.077 0.077
Elementos Prefabricados (EP)		0 2 3 5 7 8 10 11	0.189 0.048 0.048 0.048 0.048 0.095 0.095
		17 22 34 41 54 138	0.048 0.048 0.095 0.047 0.095 0.048 0.048
Geotecnia (GA)		Exponencial	
Topografía (TOP)	Probabilidad	1 12 24 28 48	0.2 0.2 0.2 0.2 0.2
Múltiples (MULTI)		Conforme a GA y CHA	

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Posteriormente se estableció la probabilidad de confirmación por cada tipo de servicio, así es posible determinar qué parte del total de PRE recibidos están siendo aceptados, en la tabla 4.6 se muestran estos porcentajes.

Tabla 4.6 Distribuciones de probabilidad discreta para confirmación de los PRE

Probabilidad Confirmación Presupuestos							
MES	AC	CAS	CHA	EP	GA	TOP	MULTI
Ene	33.33%	0.00%	73.81%	0.00%	40.25%	16.67%	16.67%
Feb	41.67%	0.00%	63.89%	16.67%	39.04%	0.00%	22.22%
Mar	0.00%	0.00%	75.00%	25.00%	29.91%	16.67%	16.67%
Abr	36.11%	8.33%	66.47%	0.00%	36.81%	0.00%	13.89%
May	0.00%	5.56%	93.33%	20.83%	35.49%	0.00%	16.67%
Jun	16.67%	41.67%	56.67%	33.33%	27.70%	0.00%	19.44%
Jul	0.00%	50.00%	69.44%	0.00%	45.91%	0.00%	0.00%
Ago	8.33%	16.67%	43.57%	33.33%	47.35%	0.00%	12.50%
Sep	0.00%	0.00%	75.42%	16.67%	27.07%	0.00%	0.00%
Oct	0.00%	16.67%	59.52%	33.33%	36.62%	16.67%	16.67%
Nov	11.11%	0.00%	58.33%	33.33%	25.02%	16.67%	0.00%
Dic	16.67%	16.67%	55.56%	16.67%	46.11%	0.00%	0.00%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

También es necesario establecer la probabilidad de selección por tipo de prueba con la que cuenta cada tipo de servicio Cabe mencionar, que estas pruebas son específicas, aunque comparten similitudes en el proceso de ejecución, en la tabla 4.7 se muestran estas probabilidades.

Tabla 4.7 Distribuciones de probabilidad discreta para selección de tipo de prueba

Tipo de prueba	% PRO x prueba
Acero	
Detección de Acero	35
Ensaye de Varillas	65
Cantidad de muestras de varillas de acero	
1 Muestra de varillas	45
2 Muestras de varillas	10
3 Muestras de varillas	35
4 Muestras de varillas	10
Concretos Asfálticos	
Desgaste de los ángeles en materiales pétreos	25
Granulometría	25
Contenido de asfalto y granulometría	25
Determinación de masa volumétrica	25
Concretos Hidráulicos	
Módulo de elasticidad	5
Pruebas físicas	5
Dosificación	5
Extracción y ensaye de núcleos	15
Muestreo y ensaye de cilindros de concretos	35
Ensaye de cilindros	35
Elementos Prefabricados	
Ensaye de elementos prefabricados	-
Geotecnia	
Muestreo Pozo a Cielo Abierto y ensayos (PCA)	43
Prueba de perforación estándar y ensayos (SPT)	30
Ensaye de calidad	3
Compactaciones	4
Límites de consistencia	5
Triaxial	10
Desgaste de los ángeles	3
Ensaye de rocas	2
Tipo de prueba PCA	
1 PCA a 3 metros	25
2 PCA a 3 metros	25
3 PCA a 3 metros	25
1 PCA a 4.5 metros	25
Tipo de prueba SPT	
1 SPT a 5 metros	17
1 SPT a 10 metros	17
1 SPT a 15 metros	16
2 SPT a 5 metros	17
2 SPT a 10 metros	17
2 SPT a 15 metros	16

Fuente: Elaboración propia.

Por último, se considera el tiempo de ejecución para realizar estas pruebas, estas distribuciones establecen el tiempo de servicio para efectuar los ensayos de los materiales correspondientes, en la tabla 4.8 se muestran a detalle las distribuciones consideradas.

Tabla 4.8 Distribuciones para los tiempos de servicio

Proceso	Distribución
Ensaye 1M de varillas	Uniforme (1,2)
Ensaye 2M de varillas	Triangular (1,2,3)
Ensaye 3M de varillas	Triangular (2,2,4)
Ensaye 4M de varillas	Triangular (2,3,5)
Detección Acero	Uniforme (1,2)
Desgaste Ángeles Materiales Pétreos	Uniforme (1,2)
Granulometría Materiales Pétreos	Triangular (1,2,4)
Contenido de Asfalto y Granulometría	Triangular (2,3,4)
Determinación Masa Volumétrica	Triangular (1,1,4)
Modulo Elasticidad	Uniforme (1,3)
Pruebas Físicas	Triangular (2,3,5)
Dosificación	Triangular (3,5,8)
Ensaye y Extracción Núcleo Concreto	Triangular (4,7,10)
Muestreo y Ensaye de Cilindros Concreto	Uniforme (26, 30)
Ensaye de Cilindros Concreto	Uniforme (1, 2)
Ensaye EP	Triangular (1,3,6)
1 PCA 3m	Triangular (3,4,7)
2 PCA 3m	Triangular (3,4,7)
3 PCA 3m	Triangular (3,5,8)
1 PCA 4.5m	Triangular (3,4,7)
1 SPT 5m	Triangular (3,5,7)
1 SPT 10m	Triangular (5,7,12)
1 SPT 15m	Triangular (7,10,14)
2 SPT 5m	Triangular (3,5,7)
2 SPT 10m	Triangular (5,7,12)
2 SPT 15m	Triangular (12,17,21)
Ensaye de Calidad	Triangular (5,7,9)
Compactaciones	Triangular (3,5,7)
Limites Consistencia	Triangular (1,2,4)
Triaxial	Triangular (1,2,4)
Desgaste Ángeles	Triangular (1,2,4)
Ensaye Rocas	Uniforme (2,4)
Topografía	Triangular (2, 5, 8)

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2 Entradas del sistema

El modelo es alimentado con los datos que fueron analizados en la sección 3, estos establecen todos los parámetros bajo los cuales estará trabajando el modelo de simulación, se genera la cantidad de PRE correspondiente a las medidas de cada mes, y dependiendo del periodo a analizar será necesario cambiar los parámetros.

4.5.3 Salidas del sistema

Las salidas esperadas del modelo de simulación es la cantidad de OT que están siendo atendidas durante el periodo de tiempo establecido, se contabilizan las OT atendidas por cada tipo de servicio y las OT en proceso de atención (pruebas que aún están siendo realizadas), sin embargo, durante los procesos del sistema real y los eventos simulados se observó, en primera estancia, que los PRE pueden llegar al final del mes y por lo tanto, su confirmación sería en el siguiente periodo, asimismo, las OT pueden ser confirmadas cerca del final de periodo, lo que ocasionaría que las pruebas sean terminadas en el siguiente mes, sin embargo, estos aspectos no deben ser considerados al momento de realizar la evaluación de los KPI.

4.5.4 Modelo de simulación aplicado al laboratorio

Para replicar el comportamiento de las operaciones en el laboratorio a través de un modelo de simulación, fue necesario determinar las propiedades del sistema real, las cuales fueron establecidas de manera previa, y que a su vez se debe permitir que varíen durante el proceso de la simulación (Chase et al, 2009).

Para el desarrollo del modelo de simulación fue necesario el uso de herramientas computacionales que permitieron recrear la manera en la cual el laboratorio procesa las

órdenes de trabajo, eligiéndose en primera instancia el software Arena® ya que, en su versión estudiantil ofrece los recursos necesarios para realizar este desarrollo, además se utilizó una computadora personal con un procesador Intel® Core i3, con una memoria RAM 4.0 GB y con un sistema operativo de 64 bits; cabe mencionar que la duración de los eventos está considerada en días y el número de réplicas (experimentos) a realizar fueron cien, esto con la finalidad de comprobar variabilidad en el proceso. En la figura 4.3 a la 4.5 se muestra la plantilla utilizada para recrear el comportamiento de las OT, debido a que gráficamente el modelo es muy extenso, se fraccionaron las imágenes, esto no significa que sean diferentes modelos, sino que es uno solo.

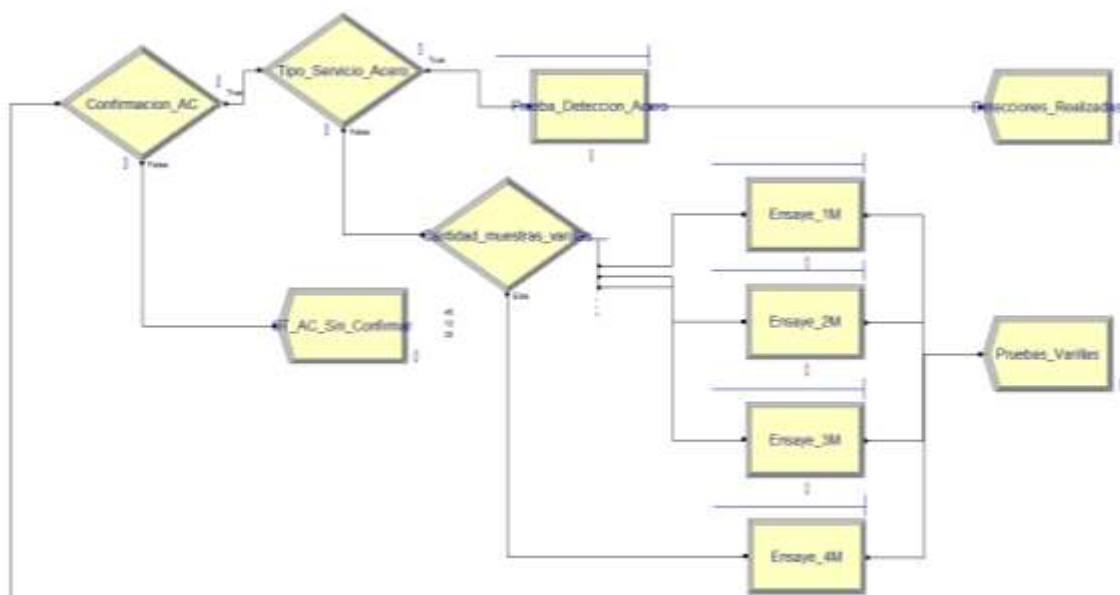


Figura 4.3 Modelo de simulación para servicios de AC (Arena®)
Fuente: Elaboración propia

En estas figuras el primer elemento, la llegada de presupuestos, replica la entrada de éstos dependiendo del mes a analizar, posteriormente conforme el tipo de selección de presupuestos se asigna una probabilidad para los siete tipos de servicios posibles, a continuación, se considera la probabilidad de confirmación por cada tipo de servicio; dentro de este proceso se determina si el presupuesto del tipo de servicio es confirmado o no, si es confirmado se debe determinar qué tipo de prueba deberá realizarse, en caso contrario solo se contabiliza el presupuesto rechazado.

Cada tipo de servicio considera diferentes pruebas a realizar, las cuales tienen diferentes tiempos de ejecución. Por último, todas aquellas órdenes de trabajo que han sido completadas exitosamente durante el tiempo de simulación son contabilizadas.

Al realizar la serie de réplicas (experimentos) con el software Arena® se observó que éstas no presentaban variabilidad, solamente se repetía la primera corrida de simulación, debido a que en la versión estudiantil no permite cambiar la semilla dentro del sistema, por lo tanto, se decidió migrar al software JaamSim, el cual es un software de simulación de eventos discretos de código abierto y gratuito; sin embargo, éste primer modelo sirve como base conceptual para trasladar todos los procesos que realiza el laboratorio. En las figuras 4.6 a 4.10 se muestra la plantilla desarrollada, de la misma forma, el modelo gráficamente es bastante extenso, sin embargo, se fraccionó para su visualización.

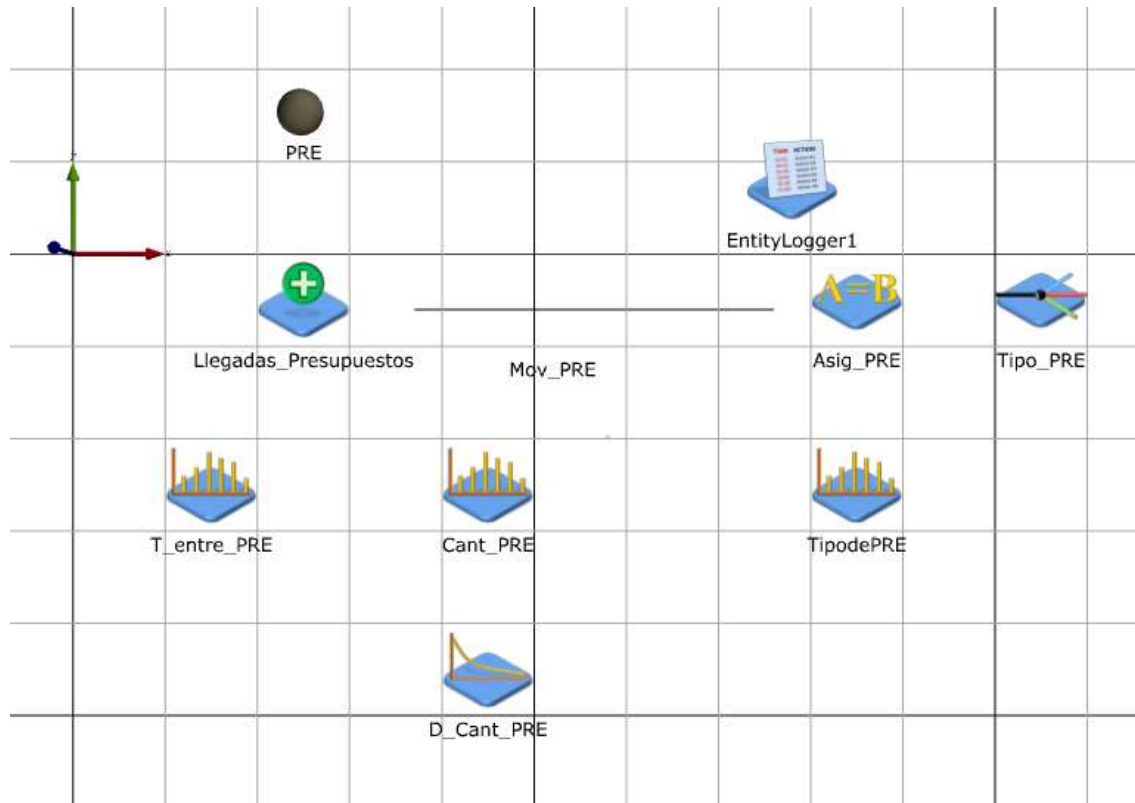


Figura 4.6 Plantilla del modelo de simulación para generar entradas en el sistema (JaamSim)
Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.6 se observa el procedimiento para la generación de entidades (PRE), estos dependen de dos tipos de probabilidades, el tiempo entre llegadas de cada PRE y la posible cantidad de PRE que puede llegar de forma diaria. A continuación, se asigna la probabilidad para el tipo de PRE correspondiente a la preferencia de servicio por cada mes.

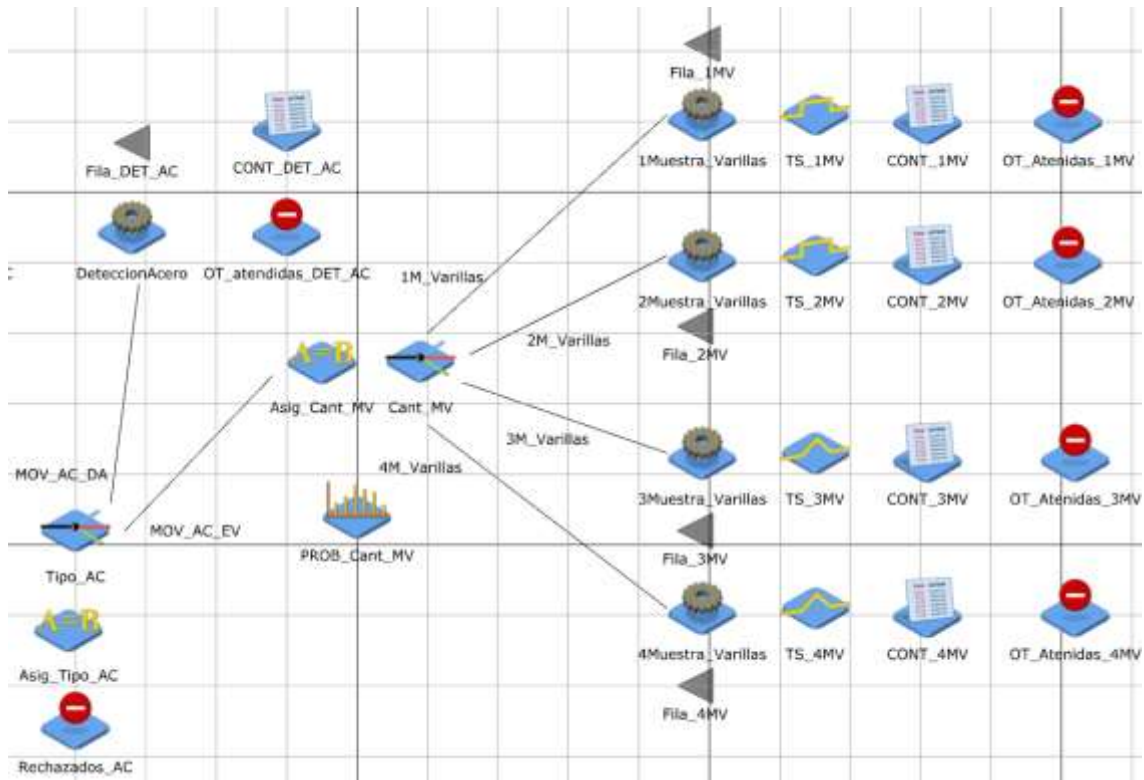


Figura 4.7 Plantilla del modelo de simulación para servicios de AC (JaamSim)
Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.7 se observa los procedimientos para los servicios de AC, a estos se les asigna una probabilidad de confirmación y la distribución de tiempo que tarda un cliente en confirmar la OT, posteriormente de acuerdo a la probabilidad del tipo de prueba, las OT son designadas a la “estación” de servicio correspondiente, además cuentan con una fila que considera el orden para atender las OT como Primeras Entradas Primeras Salidas (FIFO), la primer OT que entra debe ser la primera en salir. El proceso de ejecución de prueba se rige bajo la distribución del tiempo de servicio, por último, se contabiliza las OT atendidas.



Figura 4.8 Plantilla del modelo de simulación para servicios de EP (JaamSim)
Fuente: Elaboración propia

La figura 4.8 muestra los procedimientos para los servicios de EP, para los primeros se consideran las pruebas de determinación de masa volumétrica, módulo de elasticidad, pruebas físicas, dosificación, extracción y ensaye de núcleos de concreto, muestreo y ensaye de cilindros de concreto y por último el ensaye de cilindros de concreto. Para los servicios de EP solo se considera un proceso general que consiste en probar la resistencia a compresión de los elementos a ensayar.

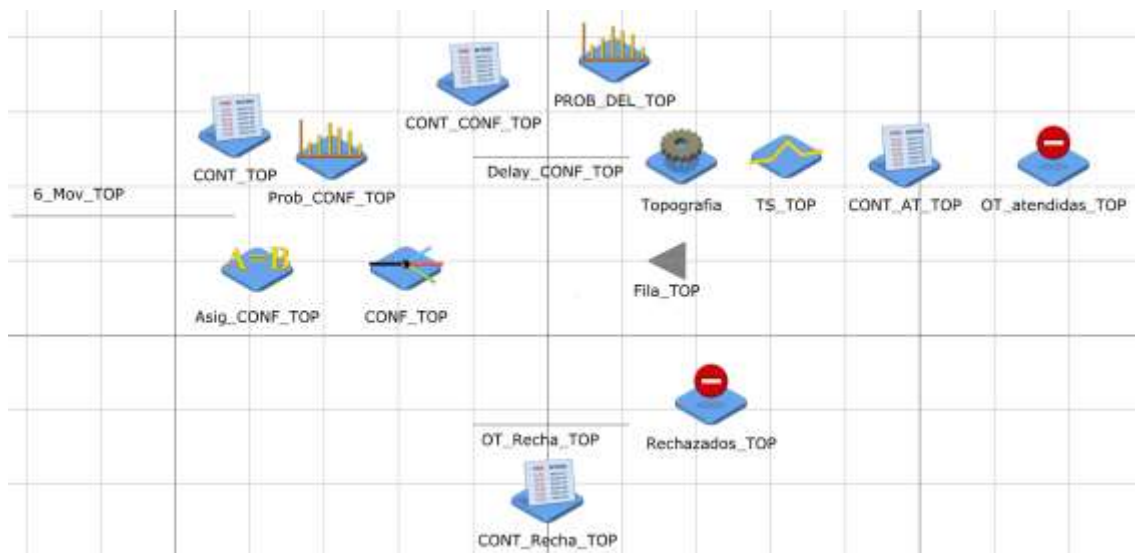


Figura 4.9 Plantilla del modelo de simulación para servicios de TOP (JaamSim)
Fuente: Elaboración propia

La figura 4.9 muestra los procedimientos para los servicios de TOP, estos al igual que en las figuras anteriores, se considera la probabilidad de confirmación, la probabilidad por tipo

de prueba y el tiempo de servicio, al finalizar el proceso se contabiliza todas las OT que fueron atendidas durante el tiempo de ejecución del ensayo.

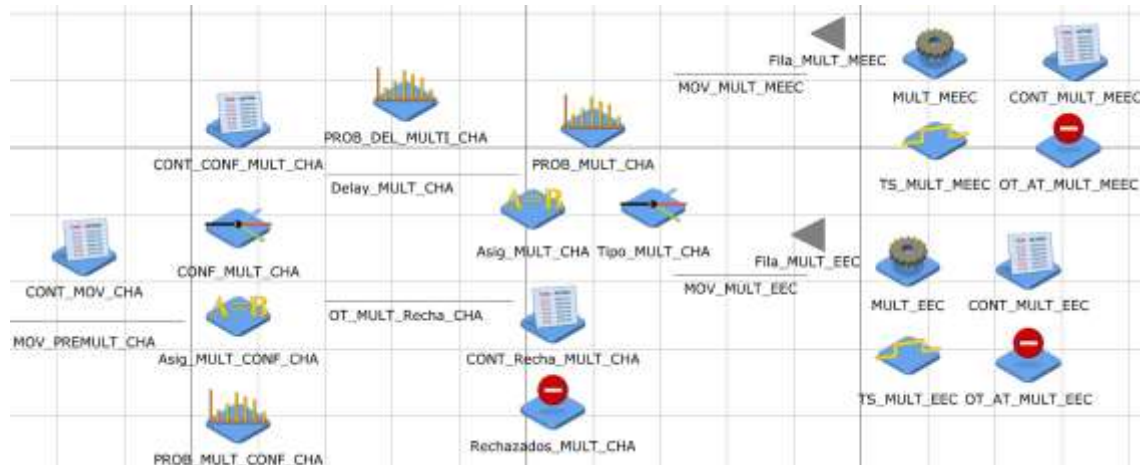


Figura 4.10 Plantilla del modelo de simulación para servicios MULTI (JaamSim)
Fuente: Elaboración propia

La figura 4.10 muestra el proceso para los servicios múltiples (CHA), aquí ocurre un proceso más, ya que primero se considera la probabilidad por tipo de presupuesto MULTI, a continuación, la probabilidad de confirmación del servicio y el tiempo de retraso en la confirmación del servicio, posteriormente la probabilidad del tipo de prueba del servicio MULTI y por último el tiempo de realización de las pruebas.

4.6 VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO

En primer lugar, se verificó que el modelo de simulación en ambos casos estuviera generando las entradas, ejecutando los procesos y salidas esperadas de acuerdo con los parámetros propuestos; de esta forma, cada mes fue evaluado con respecto a la preferencia de servicio, se compararon los datos reales contra los simulados. En la tabla 4.9 se observa esta comparación para el mes de enero considerando las entradas generadas con el software JaamSim.

Tabla 4.9 Verificación de generación de datos con respecto a preferencia por servicio (Enero)

Mes	Servicios	Datos Reales	Datos Simulados	Diferencia Absoluta
Enero	AC	3.64%	3.16%	0.48%
	CAS	0.00%	0.00%	0.00%
	CHA	19.37%	19.34%	0.03%
	EP	1.29%	0.93%	0.36%
	GEO	72.17%	72.60%	0.43%
	TOP	2.02%	2.29%	0.28%
	MULTI	1.51%	1.67%	0.16%
	Varianza			0.0004%

Fuente: Elaboración propia.

Para los seis servicios y los múltiples que ofrece el laboratorio, la diferencia entre los valores reales y los generados, no es mayor al 1% y la varianza se mantiene en niveles bajos, de esta manera se infiere que los datos que está generando el modelo están apegados con los datos reales disponibles, En el anexo A.7 se encuentran las tablas de verificación para los meses restantes.

También, para la verificación del modelo, se calcularon los intervalos de confianza para la cantidad de PRE que es recibida para cada tipo de servicio, para ejemplificar estos datos se considerará el mes de enero, la cantidad de PRE se encuentran en un intervalo de [2, 30] con un nivel de confianza del $1 - \alpha = 95\%$, sólo 4 datos de los 100 generados se encuentran fuera de rango, en la réplica 2, 8, 41 y 43, se recibieron 37, 33, 39 y 32 PRE respectivamente. A continuación, se enlistan los intervalos de confianza por cada tipo de servicio, considerando un nivel de confianza del 95%

- **Cantidad de PRE AC:** Intervalo de confianza [0, 2], datos fuera de rango: 3
- **Cantidad de PRE CAS:** conforme a la preferencia por tipo de servicio, este no cuenta con representatividad, por lo tanto, no se generaron datos para CAS

- **Cantidad de PRE CHA:** Intervalo de confianza [0, 8], datos fuera de rango: 5
- **Cantidad de PRE EP:** Intervalo de confianza [0, 1], datos fuera de rango: 2
- **Cantidad de PRE GA:** Intervalo de confianza [1, 22], datos fuera de rango: 5
- **Cantidad de PRE TOP:** Intervalo de confianza [0, 2], datos fuera de rango: 5
- **Cantidad de PRE MULTI:** Intervalo de confianza [0, 1], datos fuera de rango: 4

En el anexo A.8 se muestran las tablas que contienen los intervalos de confianza para todos los meses, en algunos casos se ha utilizado las siglas N/A (No Aplica) debido a que estadísticamente, en algunos tipos de servicio no se recibe ningún PRE, también, se indican los datos fuera de rango.

CAPÍTULO 5

PROPUESTA Y EXPERIMENTOS COMPUTACIONALES

Se detallan las pruebas computacionales realizadas estableciendo varios escenarios a partir del análisis de datos y de la aplicación de la metodología de los dos capítulos anteriores. En este apartado se desarrolla y ejecuta el modelo que replica el comportamiento del laboratorio, para tal efecto, el modelo fue diseñado en dos softwares que consideran todos los parámetros establecidos en los capítulos anteriores.

Igualmente se determina el número máximo de órdenes de trabajo que el laboratorio puede atender, sin exceder la disponibilidad de recursos, considerando los KPI establecidos para mejorar el nivel de servicio que ofrece el laboratorio a sus clientes.

5.1 MODELO DE SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE ARENA®

La ejecución del modelo de simulación se realizó considerando los parámetros y las variables establecidas previamente, asimismo, se realizó la evaluación de los KPI establecidos, la duración del proceso de simulación fue de 30 días, sin embargo, como se menciona en la sección 4.5.4, no es posible comprobar la variabilidad del proceso debido a que en este software se repiten las cien réplicas de forma idéntica.

5.2 MODELO DE SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE JAAMSIM

La aplicación del modelo de simulación se realizó considerando el análisis de datos del capítulo 3 y los parámetros de la sección 4.6.1, también se evaluaron los KPI establecidos, la duración del proceso de simulación fue de 30 días, y el número de réplicas (experimentos) fue de 100, con la finalidad de observar la variabilidad en el proceso, a partir de los resultados obtenidos se calcularon los KPI.

Se calcularon los KPI establecidos en el capítulo 3 para determinar el desempeño que estaría siendo logrado en el laboratorio con la aplicación del modelo de simulación, estos indicadores consideran los tipos de servicio que cubre los doce meses, para ejemplificar los resultados que se lograron se consideró el mes de enero, en la tabla 5.1 se muestran los resultados.

Tabla 5.1 KPI obtenidos con el modelo de simulación (Enero)

ENERO								
KPI / Servicio	AC	CAS	CHA	EP	GA	TOP	MULTI	Total
PRE	51	0	312	15	1171	37	27	1613
OT	11	0	189	0	197	2	10	409
RECHA	29	0	93	15	706	32	12	887
%CS	21.57%	0.00%	60.58%	0.00%	16.82%	5.41%	37.04%	
OTPC	11	0	30	0	268	3	5	317
%OTPC	21.57%	0.00%	9.62%	0.00%	22.89%	8.11%	18.52%	
%OTTPC	19.65%							
%CT	25.36%							
OA	11	0	117	0	164	2	8	302
OEA	0	0	72	0	33	0	2	107
%OA	100.00%	0.00%	61.90%	0.00%	83.25%	100.00%	80.00%	73.83%
WIP	0.00%	0.00%	38.10%	0.00%	16.75%	0.00%	20.00%	26.17%

Fuente: Elaboración propia

Para los servicios de CHA se logra casi un 61% de confirmación en los PRE, de las 189 OT contabilizadas de los resultados de las réplicas, 30 se quedan en proceso de confirmación lo que representa el 9.62%, y el 93 del total de PRE son rechazados. 117 OT son atendidas a tiempo, lo que da lugar a un 61.90% de atención durante el periodo de tiempo establecido, en contra parte, 72 OT aún están proceso de atención (WIP), lo que indica que el 38.1% están en proceso de realización de pruebas. De manera general se logra un %CT del 25.36% lo que indica que de los 1613 PRE que se generaron solamente 409 se confirmaron.

Este análisis fue replicado para cada mes simulado, estos resultados se encuentran en el anexo A.9, a partir de estos resultados se proponen los escenarios bajo los cuales se

volverá a correr el modelo y comprobar el comportamiento de las operaciones en el laboratorio, considerando diferentes escenarios.

5.3 ESCENARIOS PROPUESTOS PARA MEJORAR EL NIVEL DE SERVICIO

A partir del análisis de los KPI de las tablas 5.1 a la 5.4, se consideran cuatro diferentes escenarios, en los cuales se ejemplifican situaciones en las que el laboratorio podría tomar acciones para mejorar el nivel de desempeño, de esta forma se puede observar un posible estado en el que se encontraría el laboratorio. En primer lugar, se contempla un aumento en la cantidad de PRE que recibe el laboratorio, a continuación, un incremento en el porcentaje de confirmación de los PRE, en tercer lugar, considerar un aumento en la tasa de atención a las OT, por último, una mejora considerando los tres escenarios mencionados en uno sólo. Para el análisis de estos escenarios se ha considerado el primer trimestre de un año (enero, febrero y marzo), con la finalidad de replicar los posibles inicios anuales.

5.3.1 Caso 1: Aumento en la cantidad de llegada de PRE, mismo porcentaje de confirmación de PRE y misma tasa de atención de OT

Para el primer caso se aumentó en un 20% la cantidad de llegadas de PRE, con la finalidad de incrementar el número de presupuestos que recibe el laboratorio, esto se realizó tomando como base los parámetros de la sección 4.5.1, en las tablas 5.2 a la 5.4 se observan estos parámetros.

Tabla 5.2 Probabilidad en la cantidad de llegada de PRE de enero del escenario 1

PROB PRE ENERO ESC 1	
PRE	Porcentaje
0	60.64%
1	18.72%
2	12.96%
3	5.16%
5	1.92%
7	0.60%
Total	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3 Probabilidad en la cantidad de llegada de PRE de febrero del escenario 1

PROB PRE FEBRERO ESC 1	
PRE	Porcentaje
0	45.88%
1	28.44%
2	18.48%
3	3.60%
4	2.16%
5	0.72%
6	0.72%
Total	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.4 Probabilidad en la cantidad de llegada de PRE de marzo del escenario 1

PROB PRE MARZO ESC 1	
PRE	Porcentaje
0	65.20%
1	20.64%
2	6.48%
3	5.16%
4	0.60%
5	1.32%
8	0.60%
Total	100.00%

Fuente: Elaboración propia

A partir de la simulación del primer escenario y considerando el aumento en la llegada de presupuestos, se han logrado los siguientes resultados: para el mes de enero en promedio se recibirían 19.05 PRE, en comparación con la simulación original en la que llegaron 16.13; aumentó la cantidad en 2.92, de los 19.05 PRE. Para el mes de enero se confirmaron 4.76; 0.67 más que en la primera simulación, lo que da lugar a un 24.99% de confirmación,

considerando el porcentaje de confirmación de la simulación del mes de enero, se lograron resultados similares.

Para las órdenes de trabajo que fueron confirmadas en el escenario 1 para el mes de enero, se lograrían atender 3.31 de las 4.76, obteniendo un 69.54% de órdenes atendidas y en contraparte se quedan por atender 1.45, generando un WIP del 30.46%, en comparación para el mismo mes de la primera simulación, el porcentaje de órdenes atendidas disminuye.

En la tabla 5.5 y 5.6, y en las figuras 5.1 y 5.2 se observan las tablas y gráficas de los resultados logrados del escenario 1, además se toman como referencia los datos de la primera simulación para contrastar con los demás meses de este escenario.

Tabla 5.5 Resultados obtenidos a partir del escenario 1

Datos / Mes	Enero		Febrero		Marzo	
	Simulado	Escenario 1	Simulado	Escenario 1	Simulado	Escenario 1
PRE	16.13	19.05	20.35	24.64	10.01	11.95
OT	4.09	4.76	4.44	4.63	2.27	2.66
RECHA	8.87	10.58	11.69	14.16	6.1	7.28
OTPC	3.17	3.71	4.22	5.85	1.64	2.01
OA	3.02	3.31	3.1	3.29	1.65	1.93
OEA	1.07	1.45	1.34	1.34	0.62	0.73

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.6 KPI obtenidos del escenario 1

KPI / Mes	Enero		Febrero		Marzo	
	Simulado	Escenario 1	Simulado	Escenario 1	Simulado	Escenario 1
%CT	25.36%	24.99%	21.82%	18.79%	22.68%	22.26%
%OTPC	19.65%	19.48%	20.74%	23.74%	16.38%	16.82%
%OA	73.84%	69.54%	69.82%	71.06%	72.69%	72.56%
WIP	26.16%	30.46%	30.18%	28.94%	27.31%	27.44%

Fuente: Elaboración propia

Cantidad de PRE, OT, RECHA, OTPC, OA y OEA del ESC 1

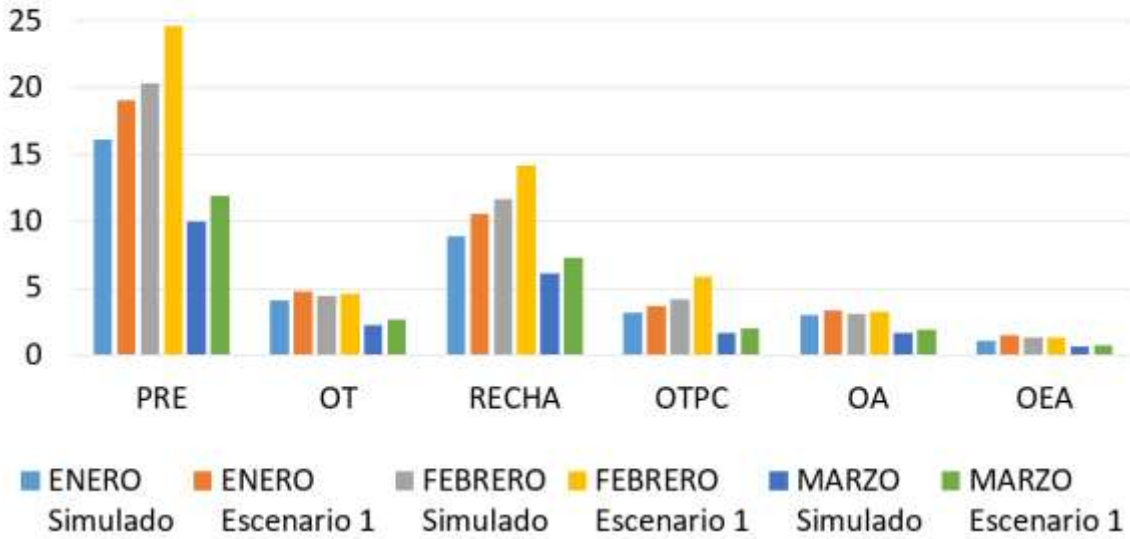


Figura 5.1 Gráfica comparativa de datos obtenidos en el escenario 1
Fuente: Elaboración propia

KPI del ESC 1

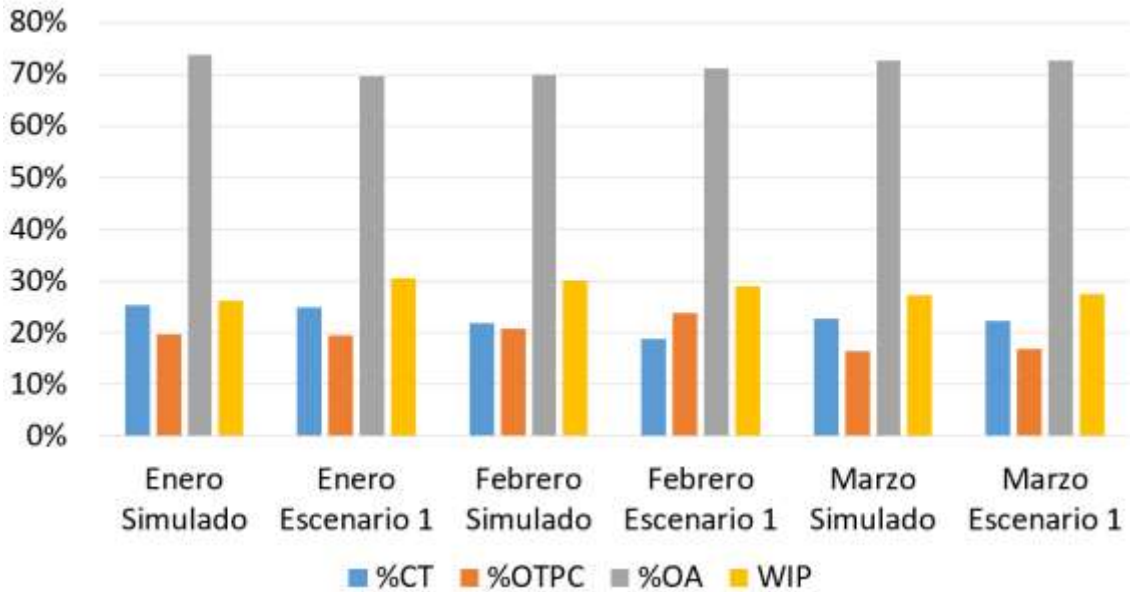


Figura 5.2 Gráfica comparativa de KPI obtenidos en el escenario 1
Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Caso 2: Misma tasa de llegada de PRE, aumento en la cantidad de confirmación de OT, y misma tasa de atención de OT

Para este escenario se consideró un incremento del 20% en la probabilidad de confirmación de los presupuestos, de este modo se contempla que una mayor cantidad de clientes confirmen sus órdenes de trabajo por cada tipo de servicio, en la tabla 5.7 se puede observar este parámetro.

Tabla 5.7 Probabilidad de confirmación de los PRE para el escenario 2

Probabilidad confirmación PRE escenario 2							
MES	AC	CAS	CHA	EP	GA	TOP	MULTI
Enero	40.00%	0.00%	88.57%	0.00%	48.30%	20.00%	60.00%
Febrero	50.00%	0.00%	76.67%	20.00%	46.85%	0.00%	60.00%
Marzo	0.00%	0.00%	90.00%	30.00%	35.90%	20.00%	60.00%

Fuente: Elaboración propia

Con la simulación de este escenario, para el mes de febrero, se obtuvieron en promedio 19.60 PRE de los cuales 4.22 se confirmaron (OT), comparando la primera simulación se obtienen resultados similares, logrando un %CT del 21.53 %, del total de presupuestos se rechazarían 9.92, 1.77 PRE menos que en la simulación de este mes; 5.46 PRE se quedarían en proceso de confirmación.

De las 4.22 OT se atienden 2.93, lo que nos arroja un 69.43% en el indicador de órdenes atendidas a tiempo, logrando resultados similares comparando la primera simulación, por el contrario, 1.29 OT se quedarían en proceso de atención, obteniendo un WIP del 30.57%. En las tablas 5.8 y 5.9, y en las figuras 5.3 y 5.4, se muestran los resultados de los meses restantes, y en las gráficas se puede comparar tanto los datos como los KPI logrados.

Tabla 5.8 Resultados obtenidos a partir del escenario 2

Datos / Mes	Enero		Febrero		Marzo	
	Simulado	Escenario 2	Simulado	Escenario 2	Simulado	Escenario 2
PRE	16.13	16.72	20.35	19.6	10.01	10.14
OT	4.09	5.03	4.44	4.22	2.27	3.07
RECHA	8.87	7.81	11.69	9.92	6.1	5.25
OTPC	3.17	3.88	4.22	5.46	1.64	1.82
OA	3.02	3.48	3.1	2.93	1.65	2.18
OEA	1.07	1.55	1.34	1.29	0.62	0.89

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.9 KPI obtenidos del escenario 2

KPI / Mes	Enero		Febrero		Marzo	
	Simulado	Escenario 2	Simulado	Escenario 2	Simulado	Escenario 2
%CT	25.36%	30.08%	21.82%	21.53%	22.68%	30.28%
%OTPC	19.65%	23.21%	20.74%	27.86%	16.38%	17.95%
%OA	73.84%	69.18%	69.82%	69.43%	72.69%	71.01%
WIP	26.16%	30.82%	30.18%	30.57%	27.31%	28.99%

Fuente: Elaboración propia

Cantidad de PRE, OT, RECHA, OTPC, OA y OEA del ESC 2

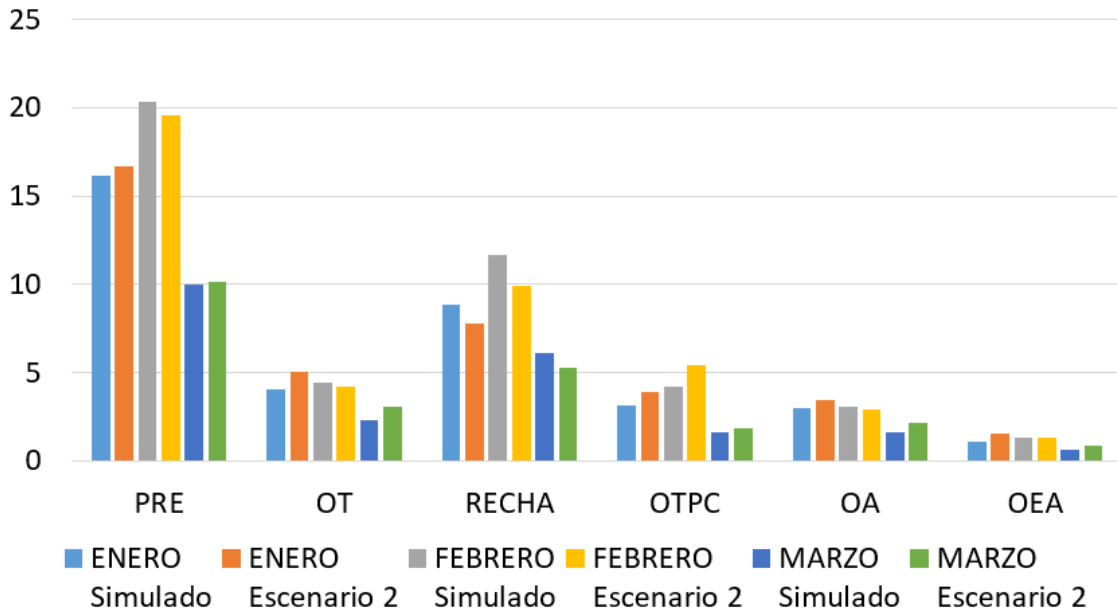


Figura 5.3 Gráfica comparativa de datos obtenidos en el escenario 2

Fuente: Elaboración propia

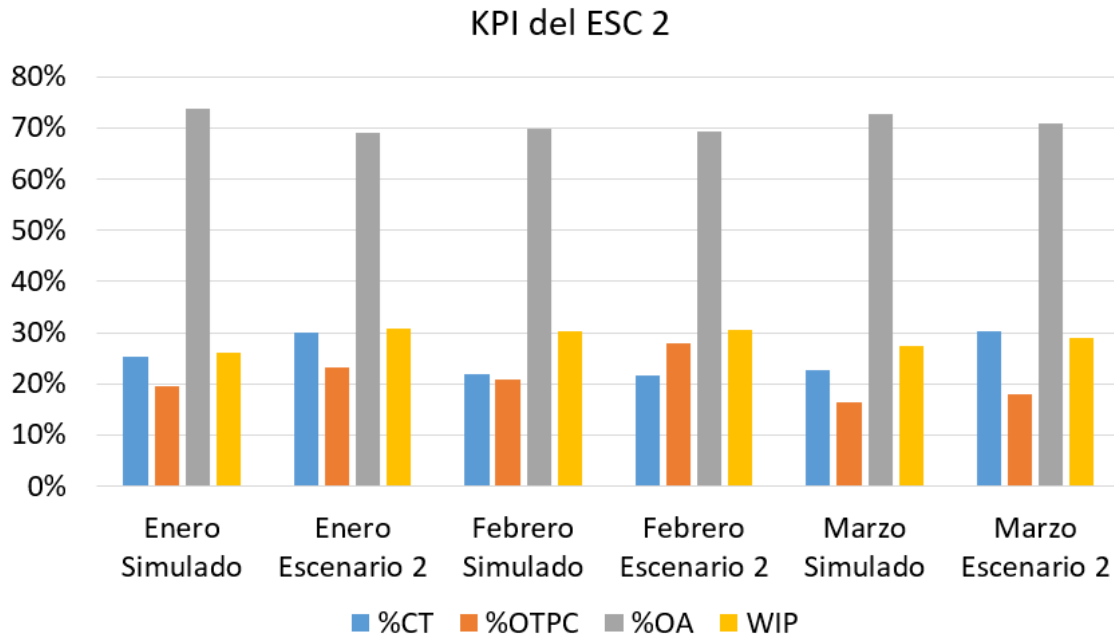


Figura 5.4 Gráfica comparativa de KPI obtenidos en el escenario 2
Fuente: Elaboración propia

5.3.3 Caso 3: Misma tasa de llegada de PRE, mismo porcentaje de confirmación de PRE, incremento en la tasa de atención para las OT

Dentro de este escenario se ha considerado la incorporación de un trabajador más, lo que representa un aumento del 20% en la disponibilidad de recursos (capital humano), en este escenario es posible atender en menor tiempo las OT, sin embargo, hay procesos que no pueden ser realizados con mayor rapidez, esto se debe a que la normativa correspondiente especifica la duración de las pruebas. En la tabla 5.10 se muestran las distribuciones de probabilidad con el incremento en la tasa de atención.

Tabla 5.10 Distribuciones para los tiempos de servicio considerando el tercer escenario

Proceso	Distribución Escenario 3
Ensaye 1M de varillas	Uniforme (1,2)
Ensaye 2M de varillas	Uniforme (1,2)
Ensaye 3M de varillas	Triangular (1,2,3)
Ensaye 4M de varillas	Triangular (1,2,3)
Detección Acero	Uniforme (1,2)
Desgaste Ángeles Materiales Pétreos	Uniforme (1,2)
Granulometría Materiales Pétreos	Triangular (1,2,3)
Contenido de Asfalto y Granulometría	Triangular (1,2,3)
Determinación Masa Volumétrica	Triangular (1,1,3)
Modulo Elasticidad	Uniforme (1,2)
Pruebas Físicas	Triangular (2,3,4)
Dosificación	Triangular (3,5,6)
Ensaye y Extracción Núcleo Concreto	Triangular (4,7,10)
Muestreo y Ensaye de Cilindros Concreto	Uniforme (26, 30)
Ensaye de Cilindros Concreto	Uniforme (1, 2)
Ensaye EP	Triangular (1,3,4)
1 PCA 3m	Triangular (2,4,6)
2 PCA 3m	Triangular (2,4,6)
3 PCA 3m	Triangular (3,4,7)
1 PCA 4.5m	Triangular (2,4,6)
1 SPT 5m	Triangular (3,4,6)
1 SPT 10m	Triangular (4,7,10)
1 SPT 15m	Triangular (6,9,12)
2 SPT 5m	Triangular (3,4,6)
2 SPT 10m	Triangular (4,7,10)
2 SPT 15m	Triangular (9,14,19)
Ensaye de Calidad	Triangular (4,7,8)
Compactaciones	Triangular (2,4,6)
Limites Consistencia	Triangular (1,2,3)
Triaxial	Triangular (1,2,3)
Desgaste Ángeles	Triangular (1,2,3)
Ensaye Rocas	Uniforme (1,3)
Topografía	Triangular (2, 4, 6)

Fuente: Elaboración propia

A partir de la simulación del tercer escenario para el mes de marzo, se recibirían en promedio 11.39 PRE, 1.38 más que en la primera simulación, de estos PRE 2.82 se confirmarían en OT, lo cual arroja un %CT del 24.76%, 6.90 PRE son rechazados y 1.67 quedarían en proceso de confirmación, del total de OT 223 serían atendidas a tiempo durante el periodo de evaluación, lo que da lugar a un %OA del 79.08%, en

comparación de la primera simulación se obtendría aproximadamente un 7% más de órdenes atendidas, por el contrario, solamente se quedarían en WIP 0.59 órdenes, lo que corresponde a un 20.92%, en las tablas 5.11 y 5.12, así como en las figuras 5.5 y 5.6 se puede observar los resultados logrados para los meses de enero, febrero y marzo, también en la figura 5.6 se puede visualizar gráficamente el valor de los KPI.

Tabla 5.11 Resultados obtenidos a partir del escenario 3

Datos / Mes	Enero		Febrero		Marzo	
	Simulado	Escenario 3	Simulado	Escenario 3	Simulado	Escenario 3
PRE	16.13	16.7	20.35	20.35	10.01	11.39
OT	4.09	4.27	4.44	3.85	2.27	2.82
RECHA	8.87	9.24	11.69	11.41	6.1	6.9
OTPC	3.17	3.19	4.22	5.09	1.64	1.67
OA	3.02	3.06	3.1	2.71	1.65	2.23
OEA	1.07	1.21	1.34	1.14	0.62	0.59

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.12 KPI obtenidos del escenario 3

KPI / Mes	Enero		Febrero		Marzo	
	Simulado	Escenario 3	Simulado	Escenario 3	Simulado	Escenario 3
%CT	25.36%	25.57%	21.82%	18.92%	22.68%	24.76%
%OTPC	19.65%	19.10%	20.74%	25.01%	16.38%	14.66%
%OA	73.84%	71.66%	69.82%	70.39%	72.69%	79.08%
WIP	26.16%	28.34%	30.18%	29.61%	27.31%	20.92%

Fuente: Elaboración propia

Cantidad de PRE, OT, RECHA, OTPC, OA y OEA del ESC 3

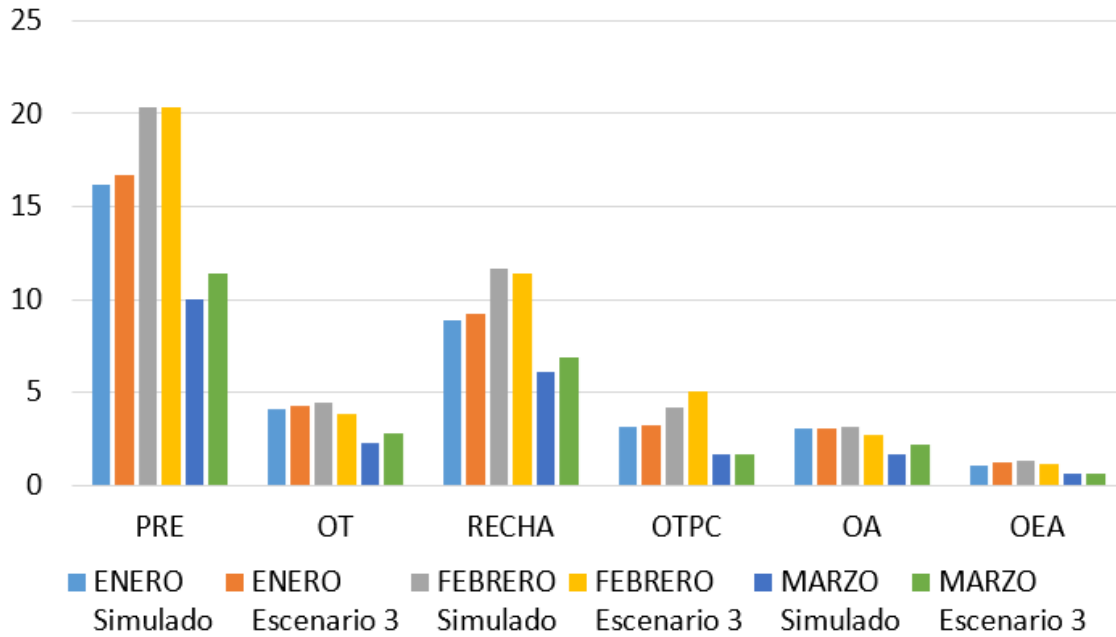


Figura 5.5 Gráfica comparativa de datos obtenidos en el escenario 3
Fuente: Elaboración propia

KPI del ESC 3

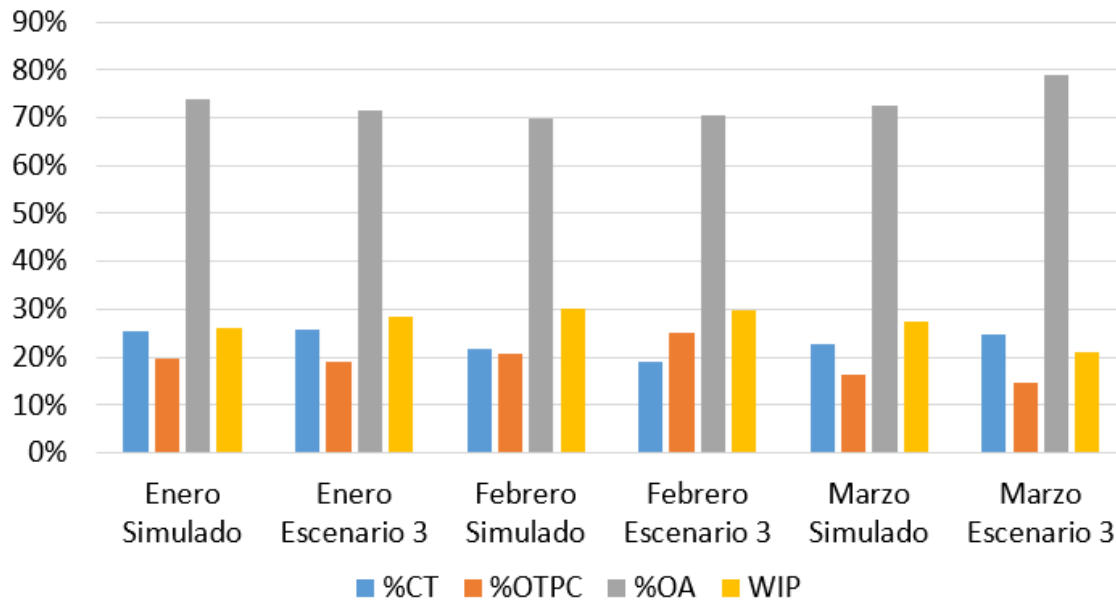


Figura 5.6 Gráfica comparativa de KPI obtenidos en el escenario 3
Fuente: Elaboración propia

5.3.4 Caso 4: Incremento en la tasa de llegada de presupuestos, aumento en el porcentaje de confirmación de las OT, y aumento en tasa de atención de OT

Este último escenario plantea la combinación de los tres escenarios anteriores en el cual se propone que se reciba una mayor cantidad de presupuestos, que estos tengan una mayor probabilidad de confirmación y la posibilidad de atender las OT en un menor tiempo.

Se consideran los parámetros de las tablas 5.2, 5.3, 5.4, 5.7 y 5.10; resultado de esta simulación para el mes de enero en promedio serían 20.83 PRE, 4.70 más que en la primera simulación; 5.91 PRE serían confirmados lo que da lugar a un %CT del 28.37%, en contra parte 9.53 PRE serían rechazados y 5.39 quedarían en proceso de confirmación. De los 5.91 OT se lograrían atender 4.33 a tiempo, obteniendo un 73.27% de órdenes atendidas a tiempo, por el contrario 1.58 están siendo procesadas, generando un 26.73% de WIP. En las tablas 5.13 y 5.14, así como en las figuras 5.7 y 5.8 se muestran los resultados obtenidos, también la comparación gráfica con respecto a la primera simulación.

Tabla 5.13 Resultados obtenidos a partir del escenario 4

Datos / Mes	Enero		Febrero		Marzo	
	Simulado	Escenario 4	Simulado	Escenario 4	Simulado	Escenario 4
PRE	16.13	20.83	20.35	23.74	10.01	12.98
OT	4.09	5.91	4.44	5.33	2.27	3.71
RECHA	8.87	9.53	11.69	11.71	6.1	6.97
OTPC	3.17	5.39	4.22	6.7	1.64	2.3
OA	3.02	4.33	3.1	3.89	1.65	2.7
OEA	1.07	1.58	1.34	1.44	0.62	1.01

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.14 KPI obtenidos del escenario 4

KPI / Mes	Enero		Febrero		Marzo	
	Simulado	Escenario 4	Simulado	Escenario 4	Simulado	Escenario 4
%CT	25.36%	28.37%	21.82%	22.45%	22.68%	28.58%
%OTPC	19.65%	25.88%	20.74%	28.22%	16.38%	17.72%
%OA	73.84%	73.27%	69.82%	72.98%	72.69%	72.78%
WIP	26.16%	26.73%	30.18%	27.02%	27.31%	27.22%

Fuente: Elaboración propia

Cantidad de PRE, OT, RECHA, OTPC, OA y OEA del ESC 4

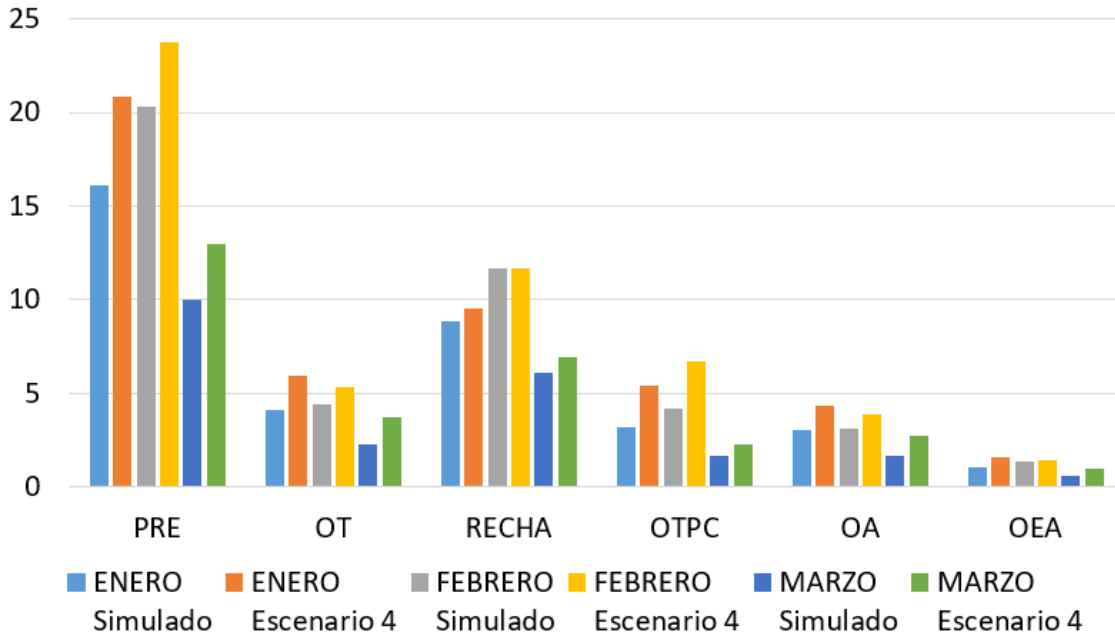


Figura 5.7 Gráfica comparativa de datos obtenidos en el escenario 4

Fuente: Elaboración propia

KPI del ESC 4

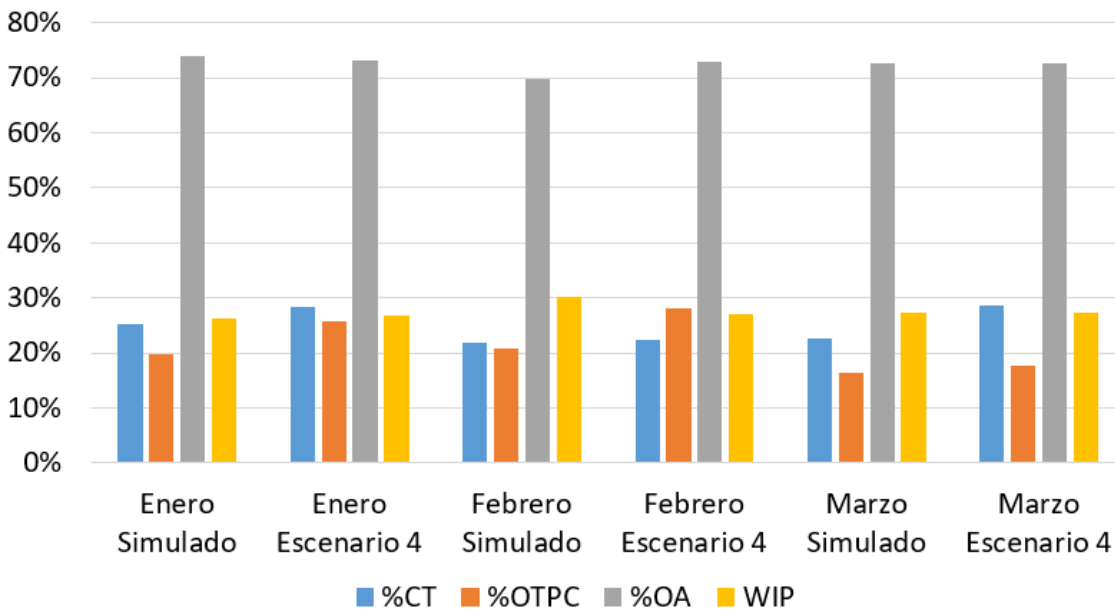


Figura 5.8 Gráfica comparativa de KPI obtenidos en el escenario 4

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

CONCLUSIONES

Con el trabajo de investigación se logró mejorar el desempeño en el procesamiento de las órdenes de trabajo, a través del modelo de simulación y con la propuesta de cuatro escenarios se obtuvo un incremento en la cantidad de presupuestos que son recibidos, también en el número de órdenes de trabajo que ingresan al laboratorio, asimismo, es posible atender una mayor cantidad de órdenes de trabajo durante el periodo de evaluación (30 días); a través de la evaluación de los indicadores de desempeño se logra una mejora en la atención de las órdenes, confirmación de los presupuestos y disminución del trabajo en proceso; también, se reduce la cantidad de presupuestos que son rechazados.

Se logró replicar el comportamiento del desempeño de pruebas consideradas en el laboratorio a través del modelo de simulación con base en el análisis de los datos históricos del 2014 al 2019, luego con los resultados obtenidos a partir de los eventos simulados, en primera instancia, se pudo calcular los indicadores de desempeño propuestos, lo que permitirá tener un panorama de la situación en la que se podría encontrar el laboratorio; de igual manera, se pueden tomar decisiones para mejorar los indicadores o bien reforzar las acciones que logran una correcta atención en las órdenes de trabajo, considerando estas métricas de desempeño.

En el primer escenario se consideró un incremento en la cantidad de presupuestos que llegan al laboratorio, con los resultados obtenidos para el mes de enero, se obtienen KPI similares para el porcentaje de confirmación total y porcentaje de órdenes de trabajo por confirmar, sin embargo, se ve afectado el indicador de porcentaje de órdenes atendidas y

por el contrario incrementa el trabajo en proceso; para el mes de febrero disminuye el porcentaje de confirmación total y aumenta el porcentaje de órdenes de trabajo por confirmar, se pueden atender una mayor cantidad de OT y se reduce el WIP; por último, para el mes de marzo se lograrían resultados similares.

Considerando este primer escenario sería posible atender el incremento de los presupuestos con los mismos recursos, sin embargo, se debe considerar que para el mes de enero el WIP se incrementa en un 4% aproximadamente, también ocasionaría seguir poniendo en fila de espera las órdenes de trabajo que ingresan al laboratorio, sin embargo, por falta de capacidad no pueden ser procesadas durante el periodo de evaluación.

Para el segundo escenario se propuso un incremento en la confirmación de los presupuestos, para el mes de enero se lograría un 30.08% en la confirmación de los presupuestos y el 23.21% quedaría en proceso de confirmación, sin embargo, el porcentaje de órdenes atendidas se reduciría a un 69.18%, de igual manera, se incrementaría el WIP en 30.82%; para el mes de febrero se lograrían resultados similares para los indicadores de porcentaje de confirmación total, porcentaje de órdenes atendidas y WIP, sin embargo, para el porcentaje de órdenes de trabajo por confirmar se incrementaría aproximadamente en 7%; para el mes de marzo se lograría una mejora aproximada del 8% en el KPI de confirmación total y para los indicadores restantes se lograrían resultados similares.

Durante este escenario se puede lograr una mayor confirmación de las OT que se reciben, además el indicador porcentaje de órdenes de trabajo por confirmar se incrementaría, por el contrario, se reduciría el rechazo de los presupuestos. Para la atención de las órdenes de trabajo, habría una reducción en el KPI de los tres meses, lo que podría disminuir el nivel de servicio. Realizar las acciones correspondientes para incrementar la confirmación de los

presupuestos, resulta benéfico para el laboratorio, ya que lograría disminuir la brecha entre los presupuestos y las órdenes de trabajo, sin embargo, al no contar con una mayor cantidad de recursos (capital humano) para atender este incremento, sería contraproducente, ya que solamente se estaría llenando de OT el laboratorio.

En el tercer escenario se consideró un incremento en la tasa de atención de las OT mediante la incorporación de un trabajador más, de esta forma, para el mes de enero los indicadores de porcentaje de confirmación total y porcentaje de órdenes de trabajo por confirmar se mantendrían de forma similar. Para el indicador porcentaje de órdenes atendidas se disminuiría cerca del 2% e incrementaría el WIP; para el mes de febrero se reduciría en aproximadamente el 3% en el porcentaje de confirmación de órdenes, lo que a su vez incrementarían las órdenes por confirmar, sin embargo, aumentaría cerca del 0.5% las órdenes atendidas y al mismo tiempo disminuiría el WIP; para el mes de febrero se lograría un avance significativo en el indicador porcentaje de órdenes atendidas ya que se incrementaría el 6.39%.

Con los resultados logrados en este escenario se pueden asegurar la atención de las órdenes de trabajo sin considerar alguna modificación en los parámetros de llegadas o confirmación de presupuestos, para el mes de marzo se observaría una mejora significativa, sin embargo, al no recibir una mayor carga de trabajo se alcanzaría un estado en el que se cuenta con suficiente capacidad para trabajar correctamente las OT, pero se estaría dejando de aprovechar la disponibilidad de los recursos (capital humano).

En el último escenario se propuso el incremento de la cantidad de presupuestos que podría recibir el laboratorio, una mayor confirmación y por último la incorporación de un trabajador, de esta forma, se incrementaría de forma general el indicador de confirmación total y las

órdenes de trabajo por confirmar, disminuirían las OT rechazadas; para el mes de febrero se lograría un incremento aproximado del 3% en el indicador porcentaje de órdenes atendidas y disminuiría el WIP; para enero y marzo se lograrían indicadores similares, sin embargo, se debe considerar que es posible atender más órdenes de trabajo durante el periodo de evaluación.

Mediante el desarrollo, prueba y experimentación del modelo de simulación se detectó la capacidad técnica con la que dispone el laboratorio, por lo que, actualmente, es posible atender las órdenes de trabajo con un 75% de nivel de servicio (KPI Porcentaje de Órdenes Atendidas)

Llevar al laboratorio hacia el cuarto escenario podría impactar positivamente en el nivel de servicio que esperan los clientes, se podría retomar la cantidad de presupuestos que eran percibidos antes del primer evento mencionado en el capítulo 1 y de acuerdo al análisis de datos del capítulo 3, también se comenzaría a disminuir la brecha entre los presupuestos y órdenes de trabajo que se observa en la figura 3.1; igualmente se podría captar una mayor cantidad de clientes y recuperar el flujo de recursos con la finalidad de conservar e incrementar los cursos de capacitación, certificaciones, calibración de equipo, adquisición de maquinaria, y seguir apoyando a los trabajos de investigación que los alumnos de la institución realizan.

Mediante el establecimiento de los KPI se determinaron métricas que permiten a los administradores del laboratorio monitorear el estado en que se encuentra éste, así es posible conocer aspectos como el cumplimiento a los clientes durante el tiempo de evaluación, el porcentaje de órdenes de trabajo que están pendientes por entregar, la proporción de presupuestos que quedan en confirmados (OT), rechazados y en proceso de

confirmación; con la evaluación de estos indicadores se pueden diseñar estrategias para mantener el nivel de servicio o bien reforzar las acciones que están siendo realizadas y que permiten cumplir las solicitudes de los clientes.

Se realizó la revisión de literatura relacionada con los temas: órdenes de trabajo, modelos matemáticos, simulación, KPI, cadena de suministro y AHP; con un enfoque hacia el tema de investigación, laboratorios de análisis de materiales para la construcción, sin embargo, no se encontró literatura relacionada con KPI de laboratorio de análisis de materiales, por lo que se establecieron cinco KPI que se usaron para determinar el nivel de servicio según el indicador. Con ella misma, se comparó el enfoque de diferentes autores para resolver temáticas similares al tema de investigación y así establecer las bases necesarias para abordar la problemática identificada.

Se llevó a cabo el análisis de datos disponibles del laboratorio de materiales dentro del periodo del año 2014 al 2019, se obtuvo información relacionada a la cantidad de presupuestos y órdenes de trabajo, estos datos fueron categorizados en tipo de presupuesto, tipo de orden de trabajo, fecha de presupuesto, fecha de orden de trabajo, ubicación del cliente y ubicación del muestreo; a través de estos datos se determinó el tiempo de confirmación de presupuestos, y la ubicación de los clientes con respecto a las instalaciones actuales y la localización previa.

Con los datos analizados fue posible observar el comportamiento de las operaciones que se realizan en el laboratorio a través de este periodo de tiempo, así como también establecer los parámetros de demanda bajo los cuales el laboratorio trabaja, se trató de modelar el sistema en forma más detallada y precisa con respecto a la demanda de los servicios que son solicitados al laboratorio.

Se definieron y establecieron los KPI que representan los requerimientos para evaluar el laboratorio de materiales considerando la literatura revisada; así es posible conocer el estado en el que se encuentra el laboratorio y determinar nivel de servicio que está logrando. En el modelo original se logra un 75.41% en la atención de las órdenes de trabajo de forma anual y un WIP del 24.59%; para el escenario 1 (trimestral) se obtuvo un 71.05% en la atención de las órdenes de trabajo, dejando un 28.95% de WIP. Para el escenario 2: 69.88% en el indicador de órdenes atendidas y 30.12% de trabajo en proceso (WIP). En el escenario 3, un 73.71% de cumplimiento a las órdenes atendidas y un 26.29% de trabajo pendiente (WIP). Por último, para el escenario 4 se alcanzó un 73.01% en el indicador de órdenes atendidas y 26.99% de trabajo en proceso.

Con la aplicación de una encuesta a los clientes, se conoció la percepción que tienen sobre aspectos que ellos consideran al momento de contratar los servicios de algún laboratorio, estos resultados permitieron establecer los criterios para evaluar la oferta de laboratorios que se encuentra en el área geográfica, donde se desarrolla el trabajo de investigación; el resultado de este proceso arrojó en primer lugar al laboratorio del caso de estudio, teniendo como principal ventaja la acreditación y los costos que ofrece.

En los procesos de la cadena de suministro desde que un cliente llega a solicitar servicios hasta la entrega del requerimiento solicitado, se pudieron definir algunos indicadores de desempeño mediante un modelo de simulación para su estado actual y escenarios propuestos, llegando a determinar el incremento de órdenes de trabajos.

Con el desarrollo del trabajo de investigación y considerando aspectos de cadena de suministro, KPI, AHP y simulación, se logró replicar en primer lugar el comportamiento de

las operaciones que se realizan en el laboratorio. Posteriormente con el establecimiento de los escenarios, se incrementó el nivel de servicio que ofrece el laboratorio, el cuarto escenario ofrece una mayor recepción de presupuestos, un porcentaje superior en las órdenes de trabajo que ingresan al laboratorio y la posibilidad de atender más servicios mensualmente; sin embargo, no se definió la rentabilidad del laboratorio en el modelo de simulación y tampoco en los escenarios propuestos, debido a que entidad administradora solicitó no publicar los costos de las pruebas que son realizadas, en cambio, en la sección de trabajos futuros se hace mención de la inclusión de estos aspectos económicos.

Considerando el análisis de datos del capítulo tres, se observa que del 2014 al 2016 hay una confirmación de los presupuestos cercana al 45%, en cambio, del 2017 al 2019 se presenta una disminución significativa para este indicador, entre un 29.85% y 45.69%; por lo que, considerando el escenario uno, se infiere la posibilidad atender de nuevo un aumento del 15% en la confirmación de los presupuestos con los mismos recursos.

RECOMENDACIONES

Considerando el tercer y cuarto escenario de la simulación se observó que es posible atender una mayor cantidad de órdenes de trabajo, por lo tanto, se recomienda la incorporación de un trabajador más para cumplir con el incremento de los servicios solicitados.

Al momento que los clientes contratan los servicios de un laboratorio acreditado tienen la confianza de que los resultados de las pruebas están respaldados por los procedimientos certificados, de esta forma, resulta importante conservar la acreditación con la que cuenta el laboratorio para mantener e incrementar la demanda de clientes.

De acuerdo a los experimentos de la simulación que replica el comportamiento de los resultados de las pruebas del laboratorio, así como los escenarios propuestos, se logra atender anualmente un 75.41% de las órdenes a tiempo (%OA), quedado en proceso de atención el 24.59%; considerando el Índice de Efectividad General (OEE, por sus siglas en inglés) que menciona Morales et al. (2013), se logra un resultado aceptable, por lo tanto, se propone en primera instancia mantener el indicador de porcentaje de órdenes atendidas en al menos 75%, para posteriormente realizar las mejoras necesarias e incrementar el nivel de servicio a un 85%.

Es necesario documentar el tiempo de ejecución requerido de cada prueba, para llegar a establecer una estandarización del tiempo de servicio requerido para cada prueba, considerando la normativa aplicable por cada tipo de servicio, Todorović et al. (2013) hacen referencia que el conocimiento adquirido en los proyectos anteriores sirven de base para realizar la estandarización de los procesos y apoyar en el éxito de estos, debido a que

actualmente el laboratorio no cuenta con esta estandarización, resulta una área de oportunidad.

Conforme a la capacidad instalada que se tiene en la actualidad y mencionada en la sección 4.4, es posible atender de forma anual y en promedio el 75.41% de las órdenes de trabajo, quedando en proceso de atención el 24.59%.

Con los resultados obtenidos en el escenario cuatro, es posible retomar una mayor cantidad de presupuestos, sin embargo, se debe considerar que este flujo de clientes era recibido antes del primer evento mencionado en el capítulo 1, por lo que se debe captar nuevamente a los clientes que aún visitan estas instalaciones, con la idea de que el laboratorio aún se encuentra ahí; es decir, proponer una oficina que realice las labores administrativas, sin descuidar la actual, ya que se separarían las funciones administrativas de las operativas, logrando así una diversificación en la captación de la demanda, esperando que se asuma un incremento del 20%.

Acorde con el resultado obtenido del AHP el laboratorio queda en primer lugar en comparación a los competidores, sin embargo, tienen una posición muy cercana todos estos, por lo que es necesario reestructurar a la brevedad posible la atención de las órdenes de trabajo con la finalidad de mejorar el servicio; para lograr este punto se propone emprender correcciones en la atención hacia los clientes, precisamente en el seguimiento a la confirmación de los presupuestos, de esta forma, con la creación del departamento para atender a los clientes en la ubicación anterior y logrando mejorar la atención a los clientes, se puede recuperar la demanda e incrementar la confirmación de los presupuestos.

Se propone realizar un análisis sobre los tiempos de servicio del laboratorio a un nivel de detalle que considere la jornada laboral en horas, así como la realización de las pruebas en la misma unidad de tiempo, lo cual involucraría considerar estos cambios en las probabilidades y distribuciones que fueron utilizadas.

A partir de los resultados obtenidos durante la realización de este trabajo de investigación, se observó que existe estacionalidad en los meses de enero, julio y diciembre, por lo que durante este tiempo es necesario realizar el mantenimiento preventivo, verificación, calibraciones y limpieza en general del equipo, con la finalidad de mantener en óptimas condiciones la maquinaria que se usa, así como identificar cualquier desperfecto que podrían tener.

TRABAJOS FUTUROS

Dentro del futuro de la investigación se considera añadir a estos periodos analizados, los datos tanto de PRE como de OT de los años 2010 al 2013, con este universo de datos se puede tener un mejor conocimiento sobre la cantidad de trabajo que podía atender el laboratorio en el primer evento mencionado del capítulo 1.

Mediante el análisis de datos desde el año 2010 hasta el año más reciente completo, considerar las distribuciones de probabilidad para la cantidad de presupuestos recibidos, el tiempo entre presupuestos y el tiempo de confirmación de las órdenes de trabajo.

Realizar experimentos considerando el aumento en la demanda de servicios, para determinar en qué porcentaje se podría atender los servicios con la incorporación de un nuevo trabajador. Así como establecer una métrica que determine cuando es necesario incorporar más trabajadores de acuerdo con el incremento de órdenes de trabajo que ingresan al laboratorio.

Determinar la capacidad real instalada del laboratorio considerando incrementos en la demanda de todos los servicios.

Establecer la medición continua de los KPI, para conocer el nivel de servicio continuo y actualizado y posteriormente detectar en qué momento sería adecuado el incremento en los recursos (maquinaria y trabajadores).

Considerar los costos que implica llevar a cabo las pruebas que realiza el laboratorio, con el objetivo de establecer el beneficio económico que refleja cada escenario que se

estableció en el capítulo cinco, así como determinar el impacto económico que representa llevar a la realidad el trabajo de investigación.

Desarrollar indicadores de desempeño financiero que involucren los aspectos económicos del laboratorio, de esta forma se podría conocer el estado en el que se encuentra el laboratorio en relación con el nivel del servicio y en función de las utilidades por prueba realizada.

Establecer KPI que midan métricas al interés del laboratorio, por ejemplo, tiempo de respuesta a los clientes en algunos de los siete servicios, con la finalidad de proponer e incorporar métricas que complementen el nivel de servicio.

REFERENCIAS

- Al-Werikat, G. (2017). Supply chain management in construction revealed. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 6(03), 106-110.
- Andres, B., Sanchis, R. & Poler, R. (2016). Modelado y Simulación de la Cadena de Suministro con AnyLogic, *Modelling in Science Education and Learning*, 9(2), 57-72.
- Barnes, D. (2001). *Understanding Business: Processes*. Londres: The Open University
- Chase, R. B., Jacobs, R., Amp & Aquilano, N. J. (2009). Administración de Operaciones. Producción y Cadena de Suministros. In McGraw-Hill.
- Gobierno del Estado de México. (2017). *Nuestros Municipios*. https://edomex.gob.mx/nuestros_municipios
- Gómez, F.A. (2008). Aplicación de teoría de colas en una entidad financiera: herramienta para el mejoramiento de los procesos de atención al cliente, *REVISTA Universidad EAFIT*, 44(150), 51-63.
- Guajardo, E. (2003). *Administración de la calidad total*. México: Editorial Pax México.
- Guerrero, A. (2011). *Modelado de una cadena de suministro de componentes críticos mediante técnicas de simulación continua*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sevilla
- Jha, K.N. & Iyer, K.C. (2007). Commitment, coordination, competence and the iron triangle. *International Journal of Project Management*, 25, 527–540.
- Kang, N., Zhao, C., Li, J. & Horst, J.A. (2016). A Hierarchical structure of key performance indicators for operation management and continuous improvement in production systems, *International Journal of Production Research*.
- Mohan, J., Neelakanteswara, R. & Krishnanand, L. (2019) A review on supply chain performance measurement systems, *Procedia Manufacturing*, 30, 40-47.

- Morales, A., Rojas, J., Hernández, L.M., Morales, A., Rodríguez, S.V. & Pérez, A. (2013). Modelación de la cadena de suministro evaluada con el paradigma de manufactura esbelta utilizando simulación, *Científica*. 17(2), 133-142.
- Ogunsanmi, O.E. (2013). Stakeholders' Perception of Key Performance Indicators (KPIs) of Public-Private Partnership (PPP) Projects, *International Journal of Construction Supply Chain Management*, 3(2), 27-38.
- Organismo Nacional de la Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación. (2003). *Industria de la Construcción – Muestro de Estructuras Térreas y Métodos de Prueba* (NMX-C-ONNCCE-2003).
- Palma, J.A. (2014) Analytical hierarchy process and SCOR model to support supply chainre-design. *International Journal of Information Management*, 34, 634-638.
- Rouzafzoon, J. (2016). *Developing Service Supply Chains by Using Agent Based Simulation*. Tesis de Maestría. University of Vaasa.
- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Gaceta Oficial de la Ciudad de México, Ciudad de México, México, 2 de abril del 2019.
- Radujković, M. & Sjekavica, M. (2017). Project Management Success Factors. *Procedia Engineering*, 196, 607-615.
- Saaty, T.L & Vargas, G. (2012). Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. *International Series in Operations Research & Management Science*, 175, 23-40.
- Sellitto, M.A., Pereira, G. M., Borchardt, M., Da Silva, R.I. & Viegas, C.V. (2015). A SCOR-based model for supply chain performance measurement: application in the footwear industry, *International Journal of Production Research*, 53(16), 4917-4926.

- Shahin, A. & Mahbod, M.A. (2007) Prioritization of key performance indicators an integration of analytical hierarchy process and goal setting. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 56 (3), 226-240.
- Stadler, H., Kilger, C. & Meyr, H. (2015). Supply Chain Management and Advanced Planning Concepts, Models, Software, and Case Studies. New York: Springer.
- Toor, S. & Ogunlana, S.O. (2010). Beyond the 'iron triangle': Stakeholder perception of key performance indicators (KPIs) for large-scale public sector development projects. *International Journal of Project Management*, 28, 228–236.
- Todorović, M.L., Petrović, D.Č., Mihić, M.M., Obradović, V.L. & Bushuyev, S.D. (2013). Project success analysis framework: A knowledge-based approach in project management. *International Journal of Project Management*, 33(4), 772-783.

ANEXOS

- **Anexo A.1** Recopilación de datos del año 2015 al 2019

Año	Mes	PRE	OT	Año	Mes	PRE	OT	Año	Mes	PRE	OT
2015	Enero	23	11	2016	Enero	15	10	2017	Enero	15	7
	Febrero	12	12		Febrero	31	11		Febrero	20	5
	Marzo	18	6		Marzo	16	8		Marzo	17	7
	Abril	30	7		Abril	19	12		Abril	20	8
	Mayo	17	8		Mayo	20	11		Mayo	26	14
	Junio	36	10		Junio	57	12		Junio	22	11
	Julio	12	11		Julio	10	4		Julio	10	5
	Agosto	23	10		Agosto	21	13		Agosto	16	10
	Septiembre	13	8		Septiembre	28	10		Septiembre	15	4
	Octubre	26	9		Octubre	16	11		Octubre	12	2
	Noviembre	15	7		Noviembre	8	4		Noviembre	12	1
	Diciembre	15	10		Diciembre	10	4		Diciembre	12	2
Total	240	109	Total	251	110	Total	197	76			

Fuente: Elaboración propia. Datos aportados por el laboratorio

Año	Mes	PRE	OT	Año	Mes	PRE	OT
2018	Enero	13	5	2019	Enero	16	7
	Febrero	27	7		Febrero	18	10
	Marzo	4	2		Marzo	19	6
	Abril	27	8		Abril	26	16
	Mayo	26	8		Mayo	13	4
	Junio	23	8		Junio	17	6
	Julio	9	6		Julio	11	3
	Agosto	14	4		Agosto	19	10
	Septiembre	18	2		Septiembre	20	10
	Octubre	21	6		Octubre	15	7
	Noviembre	15	1		Noviembre	16	8
	Diciembre	4	3		Diciembre	7	3
Total	201	60	Total	197	90		

Fuente: Elaboración propia. Datos aportados por el laboratorio

- **Anexo A.2** Total de presupuestos, órdenes de trabajo y porcentaje de confirmación del 2015 al 2019

2015																
MES	PRE AC	OT AC	PRE CAS	OT CAS	PRE CHA	OT CHA	PRE EP	OT EP	PRE GA	OT GA	PRE TOP	OT TOP	PRE MULTI	Total PRE	Total OT	% de CONF
Ene	0	0	0	0	2	2	1	0	19	9	1	0	0	23	11	47.83
Feb	0	0	0	1	1	1	0	0	10	10	0	0	1	12	12	100.0
Mar	0	0	0	0	3	2	2	1	12	3	0	0	1	18	6	33.33
Abr	4	0	0	0	2	1	3	0	19	6	2	0	0	30	7	23.33
May	0	0	0	0	2	1	0	0	15	7	0	0	0	17	8	47.06
Jun	2	0	2	2	4	2	1	1	26	5	0	0	1	36	10	27.78
Jul	0	1	1	2	2	3	0	1	8	4	0	0	1	12	11	91.67
Ago	0	0	2	0	5	2	1	1	15	7	0	0	0	23	10	43.48
Sep	0	0	0	0	2	2	0	0	11	6	0	0	0	13	8	61.54
Oct	2	0	0	0	2	1	2	2	18	6	0	0	2	26	9	34.62
Nov	0	0	0	1	1	1	0	0	12	5	0	0	2	15	7	46.67
Dic	0	0	1	1	0	0	1	1	12	8	0	0	1	15	10	66.67
Total	8	1	6	7	26	18	11	7	177	76	3	0	9	240	109	45.42

Fuente: Elaboración propia. Datos aportados por el laboratorio

2016																
MES	PRE AC	OT AC	PRE CAS	OT CAS	PRE CHA	OT CHA	PRE EP	OT EP	PRE GA	OT GA	PRE TOP	OT TOP	PRE MULTI	Total PRE	Total OT	% de CONF
Ene	0	0	0	0	4	4	0	0	10	6	0	0	1	15	10	66.67
Feb	0	0	0	0	5	5	1	0	21	6	1	0	3	31	11	35.48
Mar	0	0	0	0	2	3	0	0	8	5	0	0	6	16	8	50.00
Abr	2	2	0	0	3	3	1	0	10	6	0	1	3	19	12	63.16
May	0	0	0	0	2	4	0	1	16	6	0	0	1	20	11	55.00
Jun	0	0	0	0	5	5	0	0	49	7	0	0	30	57	12	21.05
Jul	0	0	1	1	1	1	0	0	8	2	0	0	0	10	4	40.00
Ago	0	0	1	1	0	1	0	0	15	11	1	0	4	21	13	61.90
Sep	0	0	0	0	10	4	1	1	17	5	0	0	0	28	10	35.71
Oct	0	0	0	0	3	4	0	0	11	7	0	0	2	16	11	68.75
Nov	0	0	0	0	0	0	1	1	6	3	0	0	1	8	4	50.00
Dic	0	0	0	0	0	0	0	0	10	4	0	0	0	10	4	40.00
Total	2	2	2	2	35	34	4	3	181	68	2	1	24	251	110	43.82

Fuente: Elaboración propia. Datos aportados por el laboratorio

2017																
MES	PRE AC	OT AC	PRE CAS	OT CAS	PRE CHA	OT CHA	PRE EP	OT EP	PRE GA	OT GA	PRE TOP	OT TOP	PRE MULTI	Total PRE	Total OT	% de CONF
Ene	0	0	0	1	1	0	0	0	13	6	0	0	1	15	7	46.67
Feb	0	0	0	0	0	0	0	0	19	5	0	0	1	20	5	25.00
Mar	0	0	0	0	3	1	0	0	13	6	1	0	0	17	7	41.18
Abr	0	0	0	0	6	4	0	0	13	4	0	0	1	20	8	40.00
May	0	0	3	2	5	4	0	0	18	8	0	0	0	26	14	53.85
Jun	0	0	1	0	10	6	1	1	10	4	0	0	0	22	11	50.00
Jul	0	0	0	0	3	2	0	0	5	3	0	0	2	10	5	50.00
Ago	0	1	0	0	2	4	0	0	10	5	0	0	4	16	10	62.50
Sep	0	0	0	0	1	1	0	0	14	3	0	0	0	15	4	26.67
Oct	0	0	0	0	0	0	0	0	11	2	0	0	1	12	2	16.67
Nov	0	0	0	0	2	1	0	0	10	0	0	0	0	12	1	8.33
Dic	0	0	3	0	3	1	0	0	5	1	0	0	1	12	2	16.67
Total	0	1	7	3	36	24	1	0	141	47	1	0	11	197	76	38.58

Fuente: Elaboración propia. Datos aportados por el laboratorio

2018																
MES	PRE AC	OT AC	PRE CAS	OT CAS	PRE CHA	OT CHA	PRE EP	OT EP	PRE GA	OT GA	PRE TOP	OT TOP	PRE MULTI	Total PRE	Total OT	% de CONF
Ene	0	0	0	0	1	1	1	0	10	4	0	0	1	13	5	38.46
Feb	2	1	0	0	8	4	0	0	13	2	4	0	0	27	7	25.93
Mar	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	1	0	1	4	2	50.00
Abr	0	0	0	0	7	4	1	0	17	4	1	0	1	27	8	29.63
May	0	0	0	0	5	4	4	1	17	3	0	0	0	26	8	30.77
Jun	0	0	0	0	1	0	0	0	21	8	0	0	0	23	8	34.78
Jul	0	0	0	0	0	0	0	0	9	6	0	0	0	9	6	66.67
Ago	0	0	0	0	1	0	0	0	13	4	0	0	0	14	4	25.57
Sep	0	0	0	0	4	1	0	0	12	1	0	0	2	18	2	11.11
Oct	1	0	0	0	7	4	0	0	13	2	0	0	0	21	6	28.57
Nov	0	0	0	0	2	1	0	0	11	0	2	0	0	15	1	6.67
Dic	1	1	0	0	1	1	0	0	2	1	0	0	0	4	3	75.00
Total	4	2	0	0	39	22	6	1	138	35	8	0	5	201	60	29.85

Fuente: Elaboración propia. Datos aportados por el laboratorio

2019																	
MES	PRE AC	OT AC	PRE CAS	OT CAS	PRE CHA	OT CHA	PRE EP	OT EP	PRE GA	OT GA	PRE TOP	OT TOP	PRE MULTI	Total PRE	Total OT	% de CONF	
Ene	2	2	0	0	3	3	0	0	11	2	0	0	0	16	7	43.75	
Feb	3	4	0	0	6	3	0	0	8	3	0	0	1	18	10	55.56	
Mar	0	0	0	0	4	2	1	1	12	3	0	0	2	19	6	31.58	
Abr	8	8	0	0	5	5	1	0	12	3	0	0	0	26	16	61.54	
May	1	0	0	0	2	2	0	0	8	2	0	0	2	13	4	30.77	
Jun	1	1	2	2	1	1	0	0	11	2	0	0	2	17	6	35.29	
Jul	0	0	1	0	4	2	0	0	6	1	0	0	0	11	3	27.27	
Ago	2	1	2	0	7	5	0	0	8	4	0	0	0	19	10	52.63	
Sep	0	0	1	0	8	7	0	0	11	3	0	0	0	20	10	50.00	
Oct	2	0	0	0	4	3	0	0	9	4	0	0	0	15	7	46.67	
Nov	3	2	1	0	6	5	0	0	5	1	0	0	1	16	8	50.00	
Dic	0	0	0	0	1	1	0	0	5	2	0	0	1	7	3	42.86	
Total	22	18	7	2	51	39	2	1	106	30	0	0	9	197	90	45.69	

Fuente: Elaboración propia. Datos aportados por el laboratorio

- **Anexo A.3** Comparativa en distancia entre municipios que solicitan presupuestos contra ubicaciones del laboratorio

No.	Municipio	Distancia Ubicación Anterior (km)	Distancia Ubicación Actual (km)	Diferencia
1	Acambay	90.2	71.4	-18.8
2	Almoloya de Alquisiras	73.3	94.5	21.2
3	Almoloya de Juárez	16.4	9.8	-6.6
4	Almoloya del Río	35.6	49.4	13.8
5	Amatepec	136	155	19
6	Amecameca	125	139	14
7	Atizapán de Zaragoza	72.7	79.3	6.6
8	Atlacomulco	70	51.2	-18.8
9	Avandaro	74.7	64.6	-10.1
10	Calimaya	22.4	34.8	12.4
11	Capulhuac	35.9	49.8	13.9
12	Chalco	103	117	14
13	Coacalco de Berriozábal	96.1	103	6.9
14	Coatepec Harinas	76.6	107	30.4
15	Cuautitlán Izcalli	90.9	97.5	6.6
16	Ecatepec	116	122	6
17	El Oro	99.2	80.4	-18.8
18	Huixquilucan	43.6	57.2	13.6
19	Ixtapaluca	98.4	112	13.6
20	Ixtapan de la Sal	68.2	98.7	30.5
21	Ixtlahuaca	41.2	22.4	-18.8

No.	Municipio	Distancia Ubicación Anterior (km)	Distancia Ubicación Actual (km)	Diferencia
22	Jalatlaco	43.6	104	60.4
23	Jilotepec	102	82.8	-19.2
24	Jiquipilco	56.5	37.7	-18.8
25	Lerma	21.2	34.8	13.6
26	Lomas de Tecamachalco	59.1	72.7	13.6
27	Los Reyes la Paz	90.3	104	13.7
28	Malinalco	62.5	93.9	31.4
29	Metepec	11.2	24.2	13
30	Mexicaltzingo	14.8	28.6	13.8
31	Naucalpan	64	69.1	5.1
32	Nezahualcóyotl	86.8	99.9	13.1
33	Ocoyoacac	25.5	40.7	15.2
34	Otzolotepec	36.3	24.5	-11.8
35	San Antonio la Isla	20.8	34.8	14
36	San Felipe del Progreso	82.8	61.4	-21.4
37	San Mateo Atenco	19.7	38.4	18.7
38	San Mateo Otzacatipan	11.6	17.1	5.5
39	San Pedro Toltepec	19.1	22.8	3.7
40	San Vicente Chicoloapan	97.8	112	14.2
41	Santa Cruz Atizapán	33.5	48.2	14.7
42	Santiago Tianguistenco	35.3	50.9	15.6
43	Sultepec	75.4	98.3	22.9
44	Tecámac	126	120	-6
45	Tejupilco	99.9	121	21.1
46	Temascaltepec	108	122	14
47	Temoaya	36.3	20.3	-16
48	Tenancingo	52.1	84	31.9
49	Tenango del Valle	27.9	59.8	31.9
50	Teotihuacan	136	128	-8
51	Tepetlaoxtoc	145	128	-17
52	Texcoco	101	115	14
53	Tlalnepantla	75.7	83.7	8
54	Tlatlaya	150	170	20
55	Toluca	3.9	18.3	14.4
56	Tonatico	70.8	103	32.2
57	Valle de Bravo	71.6	64.6	-7
58	Villa Guerrero	52	83.5	31.5
59	Villa Victoria	48.6	40.8	-7.8
60	Xalatlaco	43.6	57.6	14
61	Xonacatlán	24.5	26.1	1.6
62	Zinacantepec	9.5	30.3	20.8
63	Zumpahuacan	69.9	101	31.1
64	Zumpango	118	123	5

Fuente: Elaboración propia. Datos aportados por el laboratorio

- **Anexo A.4** Formato de encuesta de los procesos del laboratorio



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 MESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CADENA DE SUMINISTRO



ENCUESTA DE DURACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES

La presente encuesta tiene la finalidad de recabar información que será utilizada para desarrollar el tema de investigación "Mejora en la Atención de Órdenes de Trabajo para Aumentar el Nivel De Servicio de un Laboratorio de Análisis de Materiales para la Construcción" del alumno Josué Rojas Rodríguez que actualmente cursa el segundo semestre de la Maestría en Ingeniería de la Cadena de Suministro.

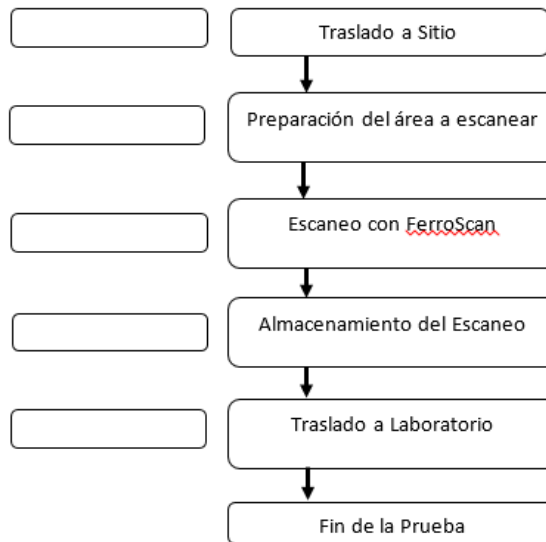
Agradeciendo su apoyo, la forma para contestar la encuesta es la siguiente:

- En cada recuadro en blanco se debe colocar con letra legible la cantidad de tiempo (en minutos) que tarda en realizar dicha actividad
- Si detecta alguna omisión de un procedimiento para la prueba, por favor colocar el nombre del procedimiento y de igual manera el tiempo que tarda en realizar la actividad

Nombre del trabajador: _____

Proceso para realizar prueba de Detención de Acero

Personal requerido: _____



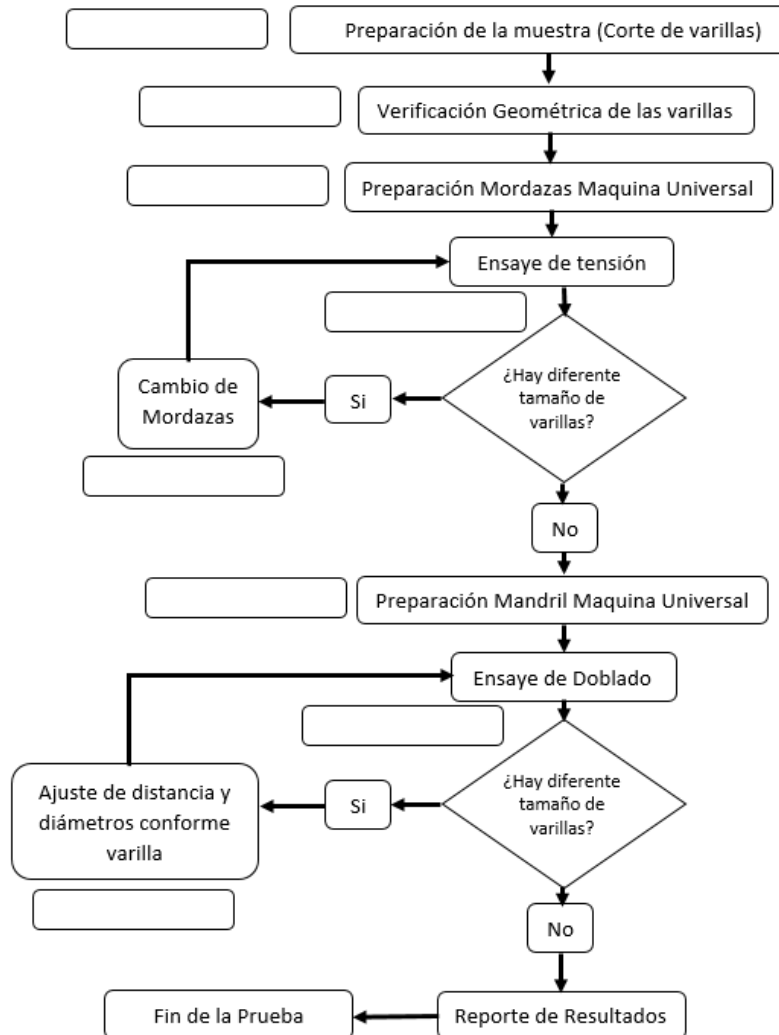
Fuente: Elaboración propia, datos aportados por el laboratorio.



ENCUESTA DE DURACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES

Ensaye de tensión, doblado y verificación geométrica de varillas de
acero de refuerzo

Personal requerido: _____



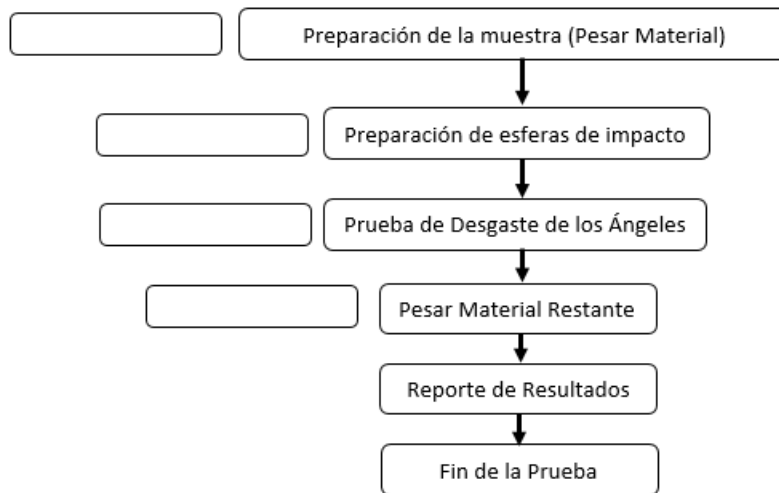
Fuente: Elaboración propia, datos aportados por el laboratorio.



ENCUESTA DE DURACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES

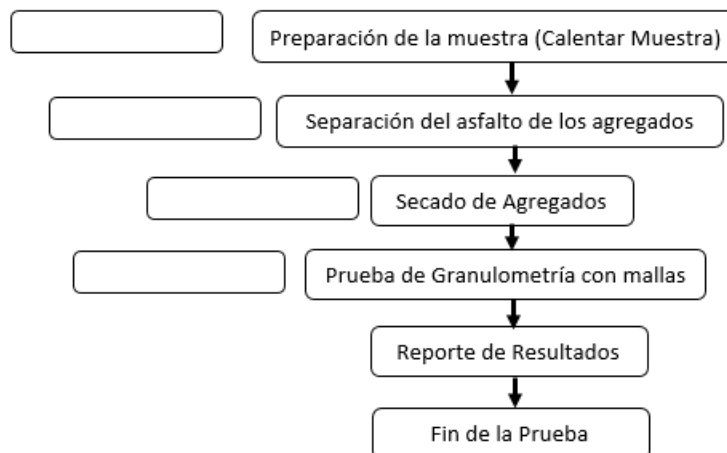
Desgaste de los Ángeles en Material Pétreo

Personal Requerido: _____



Análisis Granulométrico para materiales pétreos utilizando mallas

Personal Requerido: _____



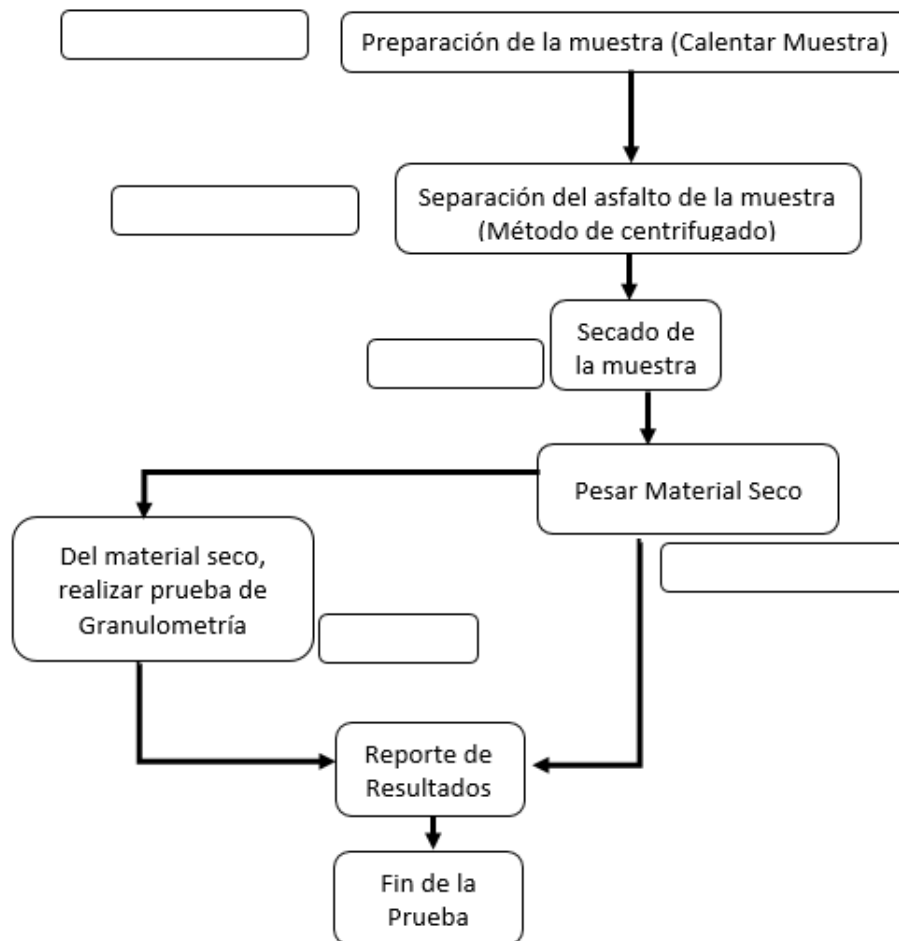
Fuente: Elaboración propia, datos aportados por el laboratorio.



ENCUESTA DE DURACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES

Determinación del contenido de asfalto y granulometría de materiales pétreos
(Método de Centrifugación)

Personal Requerido: _____



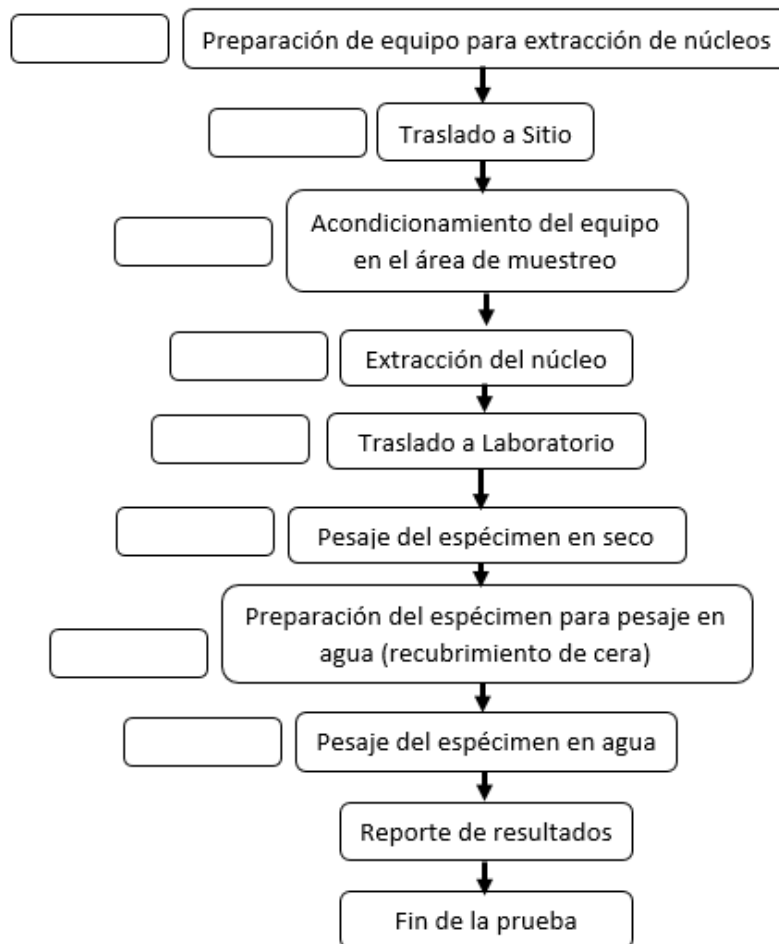
Fuente: Elaboración propia, datos aportados por el laboratorio.



ENCUESTA DE DURACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES

Determinación de la masa volumétrica en especímenes
Marshall o en núcleos extraídos
(Grado de Compactación)

Personal Requerido: _____



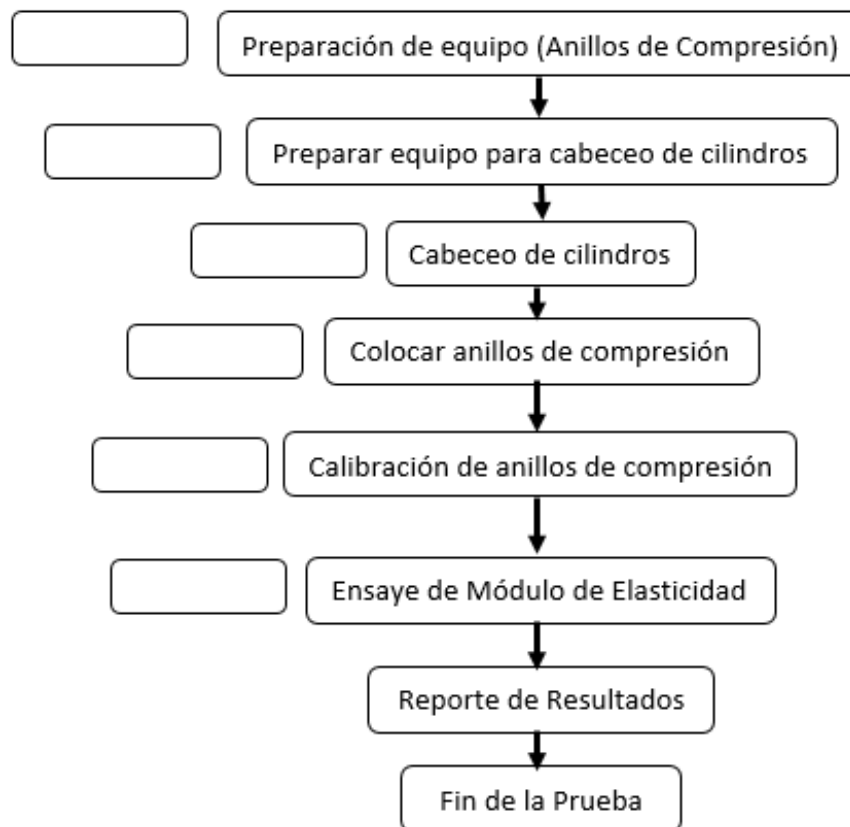
Fuente: Elaboración propia, datos aportados por el laboratorio.



ENCUESTA DE DURACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES

Determinación del módulo de elasticidad estático

Personal Requerido: _____



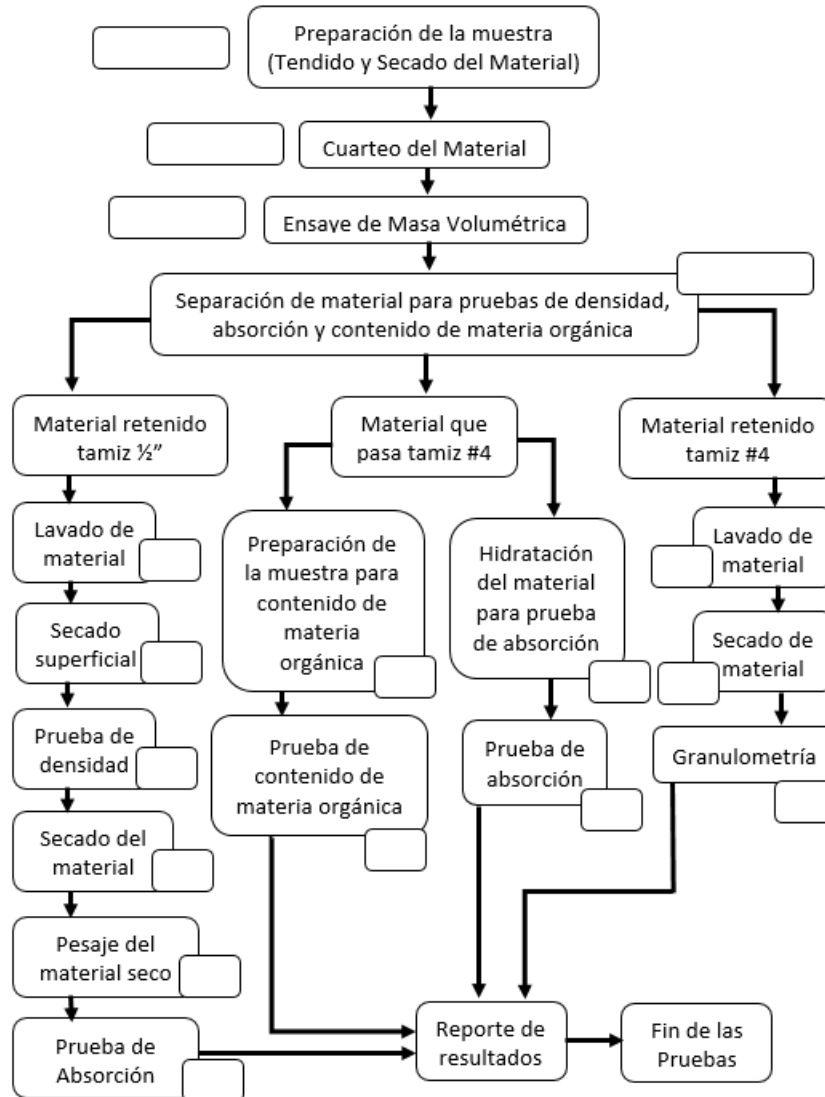
Fuente: Elaboración propia, datos aportados por el laboratorio.



ENCUESTA DE DURACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES

Pruebas físicas de agregados para concreto (arena o grava), incluye masa volumétrica, granulometría, densidad, absorción y contenido de materia orgánica.

Personal Requerido: _____



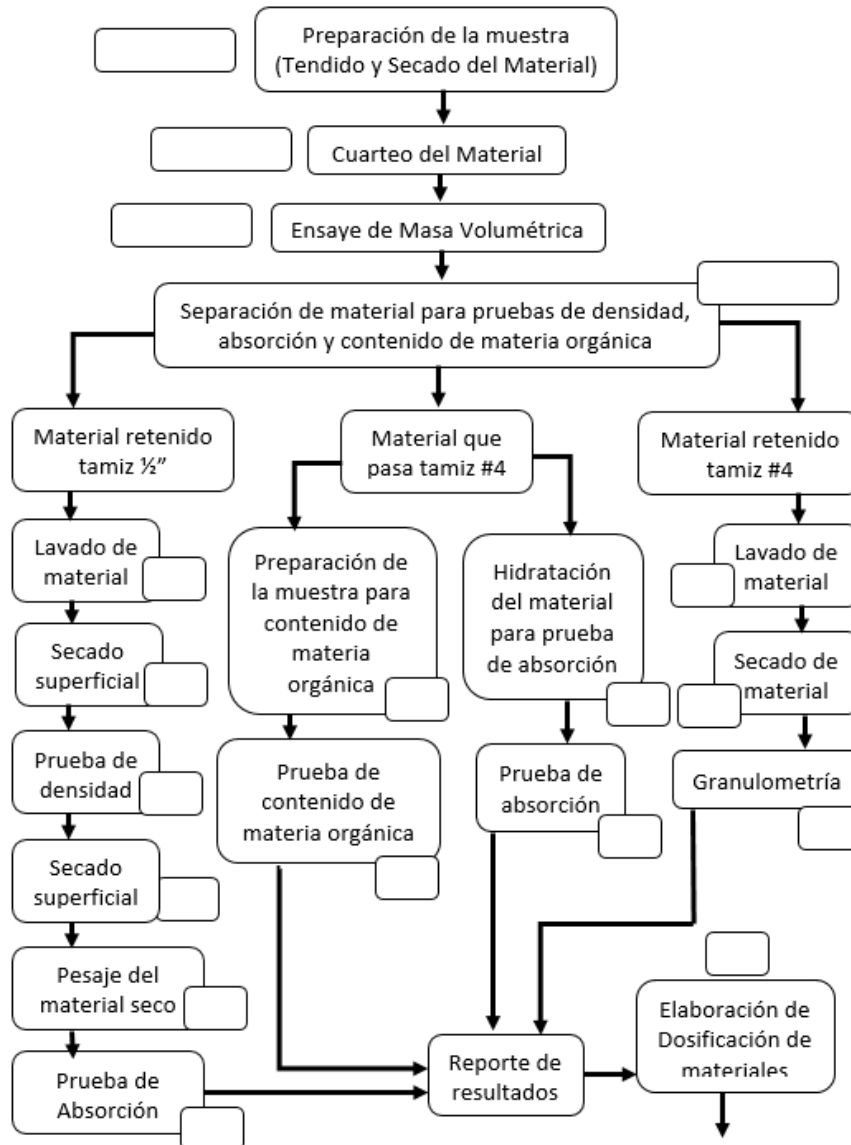
Fuente: Elaboración propia, datos aportados por el laboratorio.



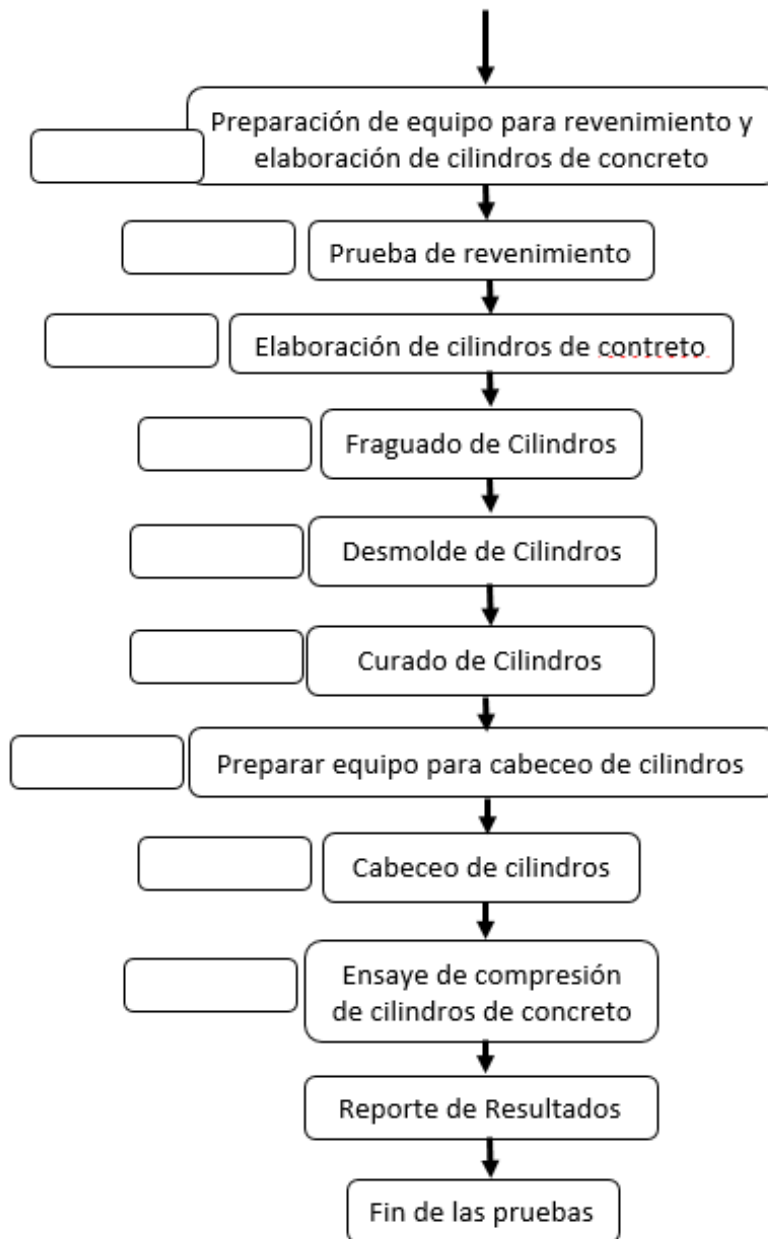
ENCUESTA DE DURACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES

Dosificación de materiales para concreto, incluye pruebas físicas de agregados para concreto (arena y grava), masa volumétrica, granulometría, densidad, absorción, contenido de materia orgánica, elaboración y ensaye de cilindros estándar de 15x30cm

Personal Requerido: _____



Fuente: Elaboración propia, datos aportados por el laboratorio.



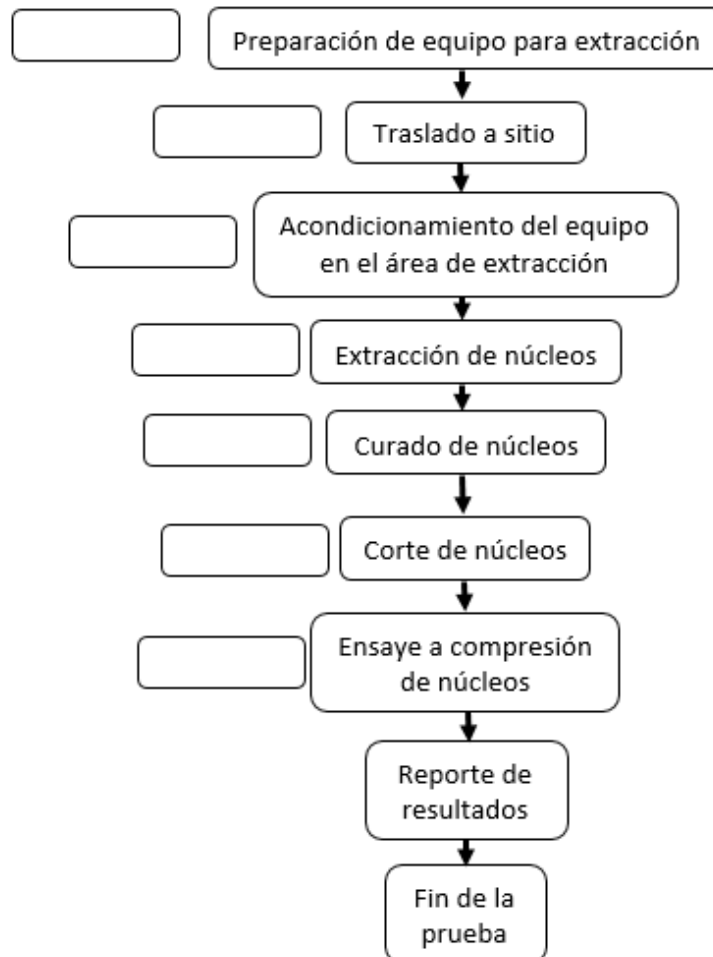
Fuente: Elaboración propia, datos aportados por el laboratorio.



ENCUESTA DE DURACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES

Extracción, corte y ensaye de núcleos de concreto de 5 a 7cm de diámetro,
con altura hasta de 4 veces el diámetro

Personal Requerido: _____



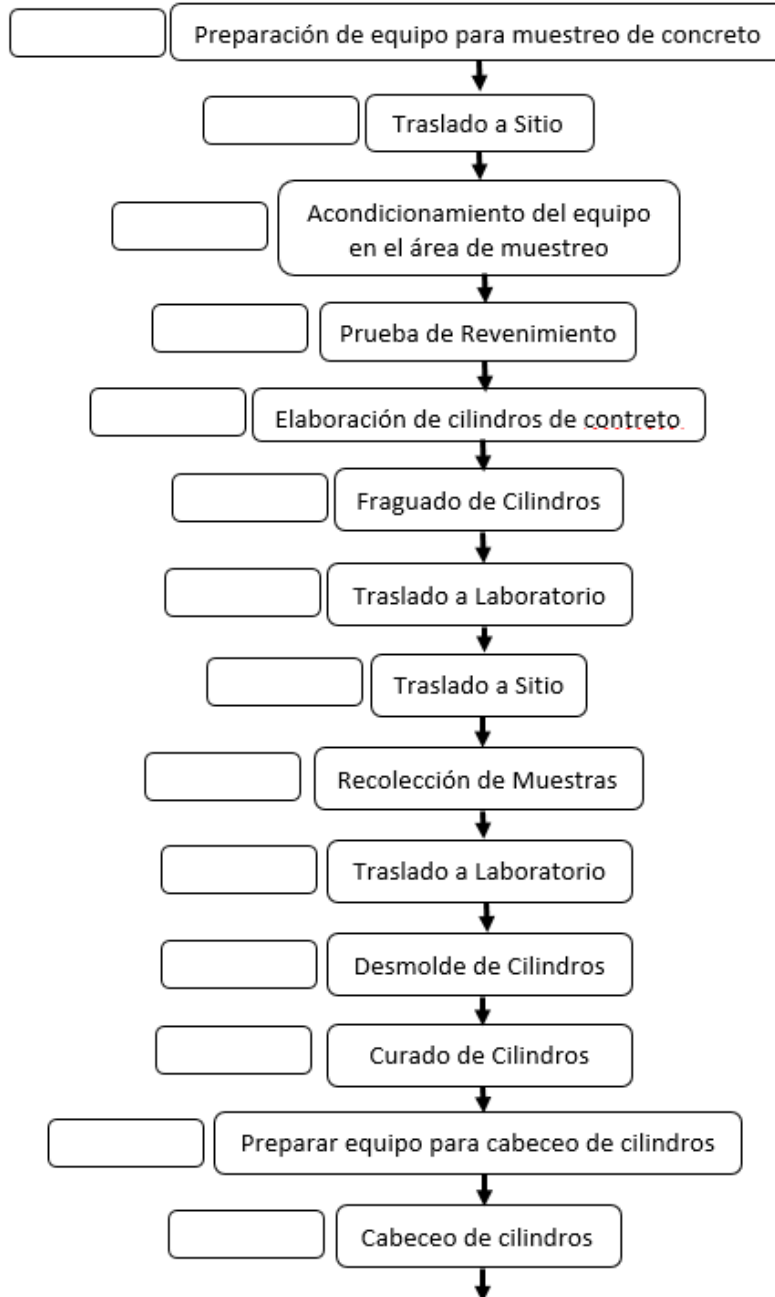
Fuente: Elaboración propia, datos aportados por el laboratorio.



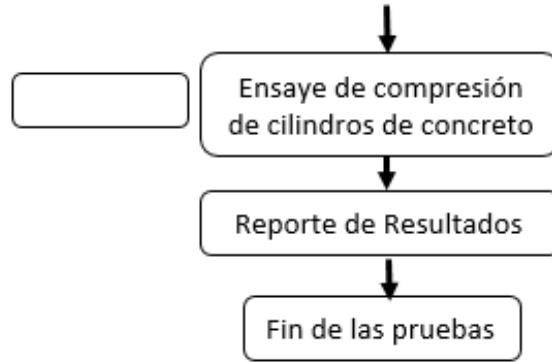
ENCUESTA DE DURACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES

Muestreo, revenimiento, elaboración y ensaye de cilindros estándar de concreto de 15 x 30 cm

Personal Requerido: _____

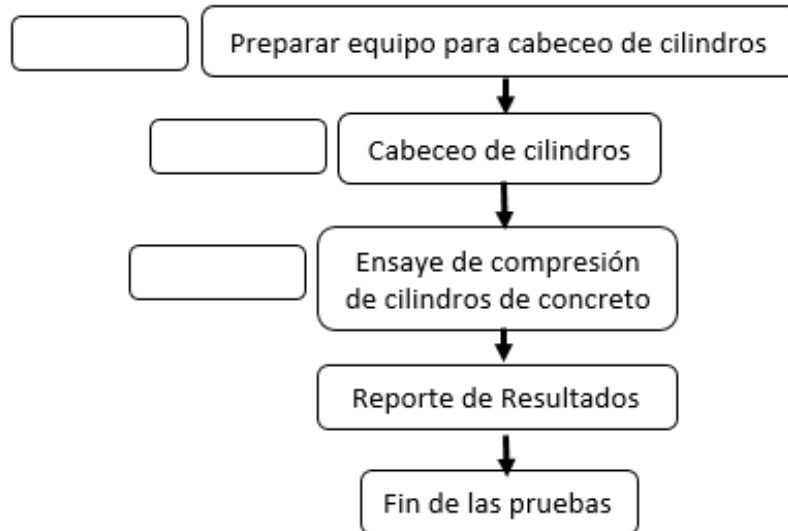


Fuente: Elaboración propia, datos aportados por el laboratorio.



Ensaye a compresión de cilindros de concreto estándar 15 x 30 cm

Personal Requerido: _____



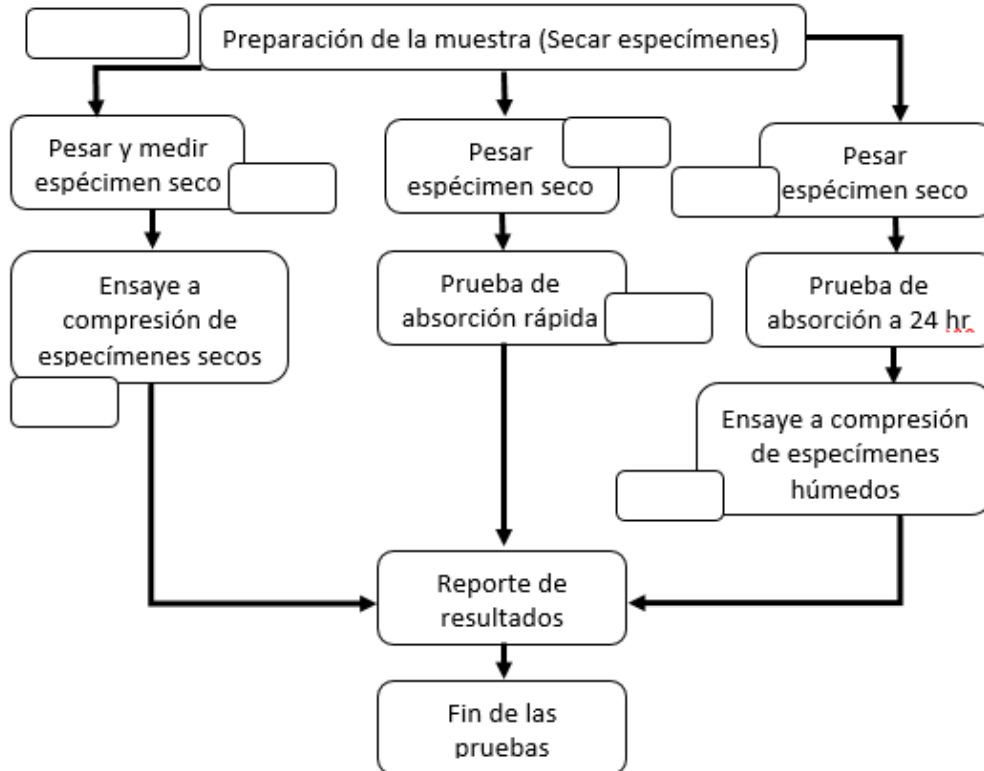
Fuente: Elaboración propia, datos aportados por el laboratorio.



ENCUESTA DE DURACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES

Ensaye de bloques, tabiques y tabicones, incluye pruebas de resistencia a compresión y absorción

Personal Requerido: _____



Fuente: Elaboración propia, datos aportados por el laboratorio.



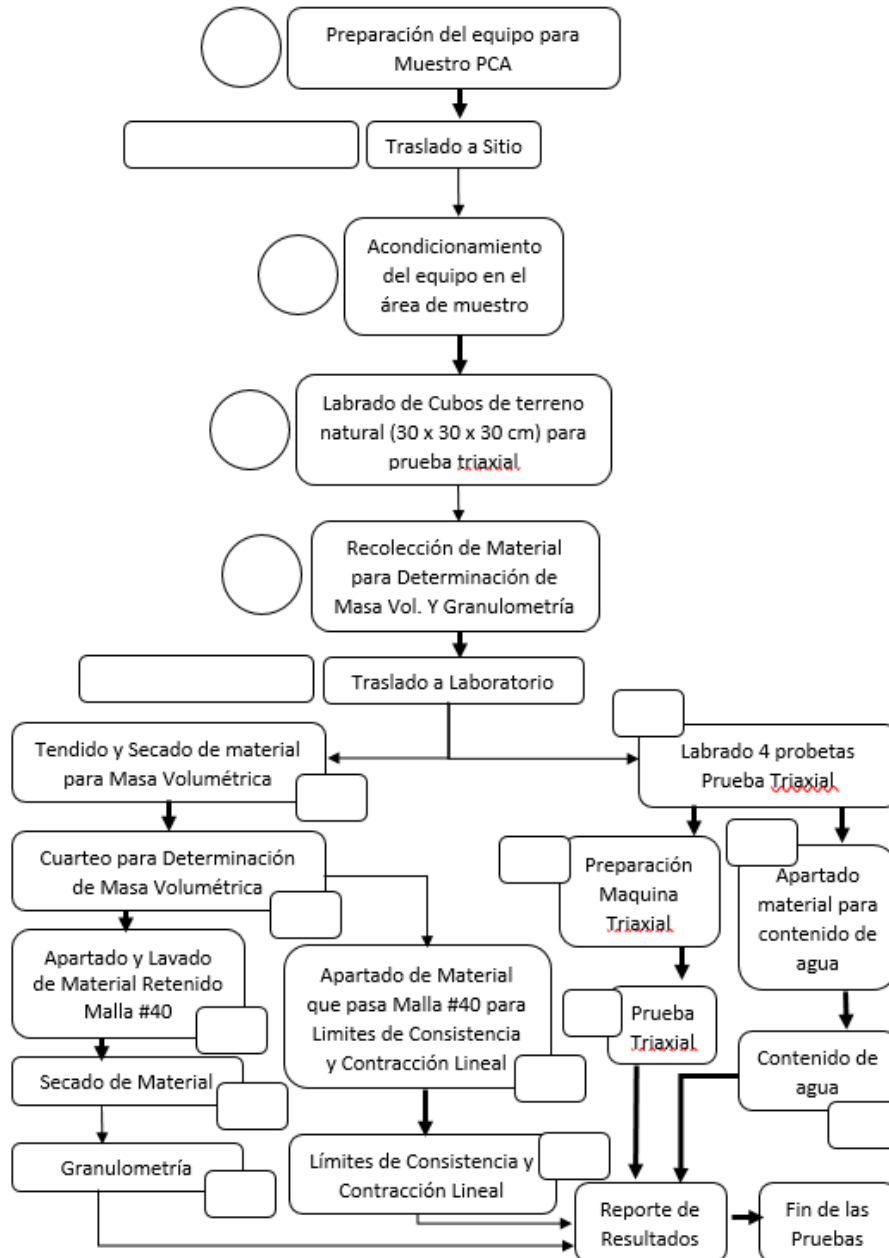
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CADENA DE SUMINISTRO



ENCUESTA DE DURACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES

Procedimiento para atención órdenes de Muestreo a PCA

Personal Requerido: _____



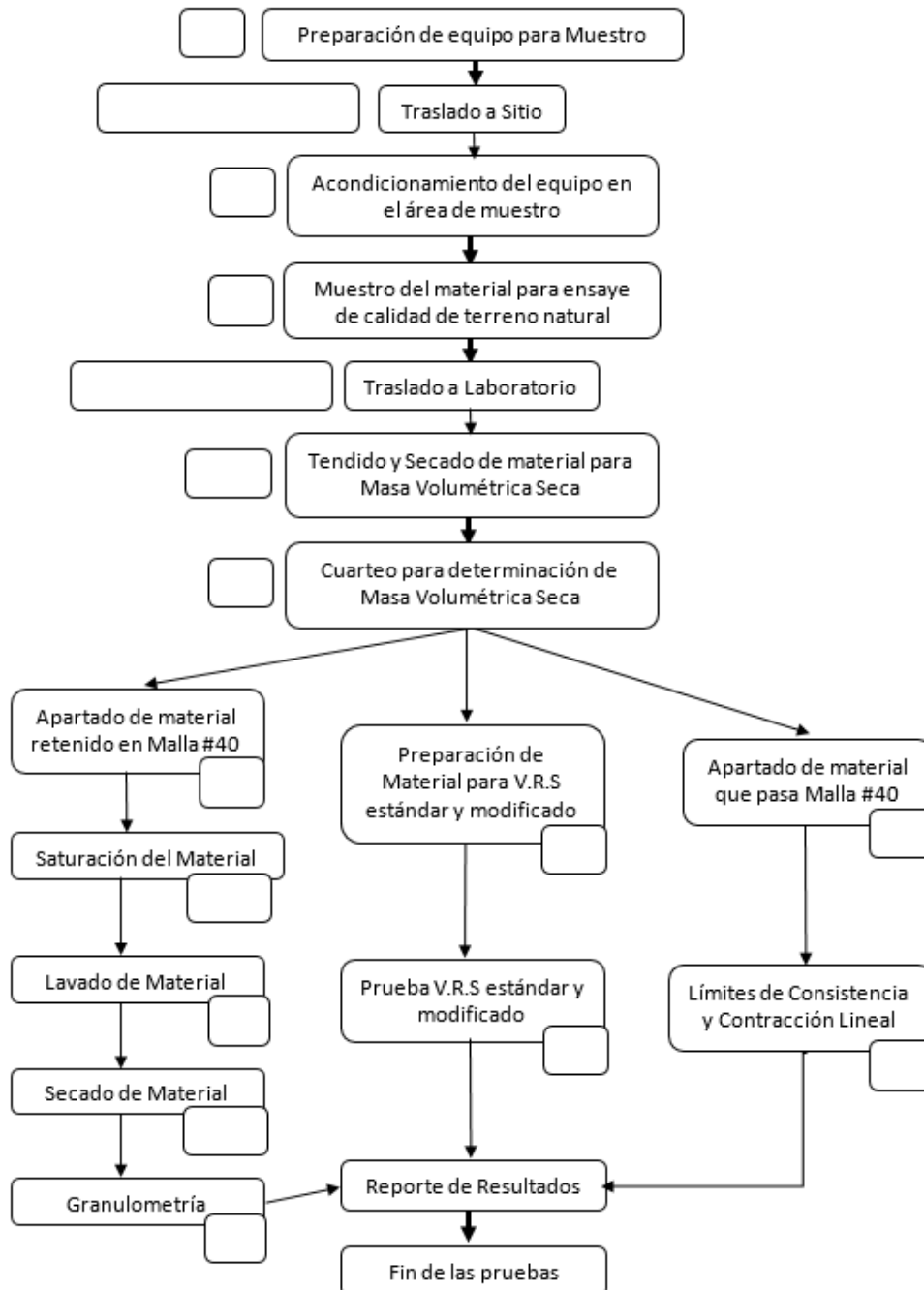
Fuente: Elaboración propia, datos aportados por el laboratorio.



ENCUESTA DE DURACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES

Procedimiento para atención órdenes de Ensaye de Calidad en Terreno Natural

Personal Requerido: _____



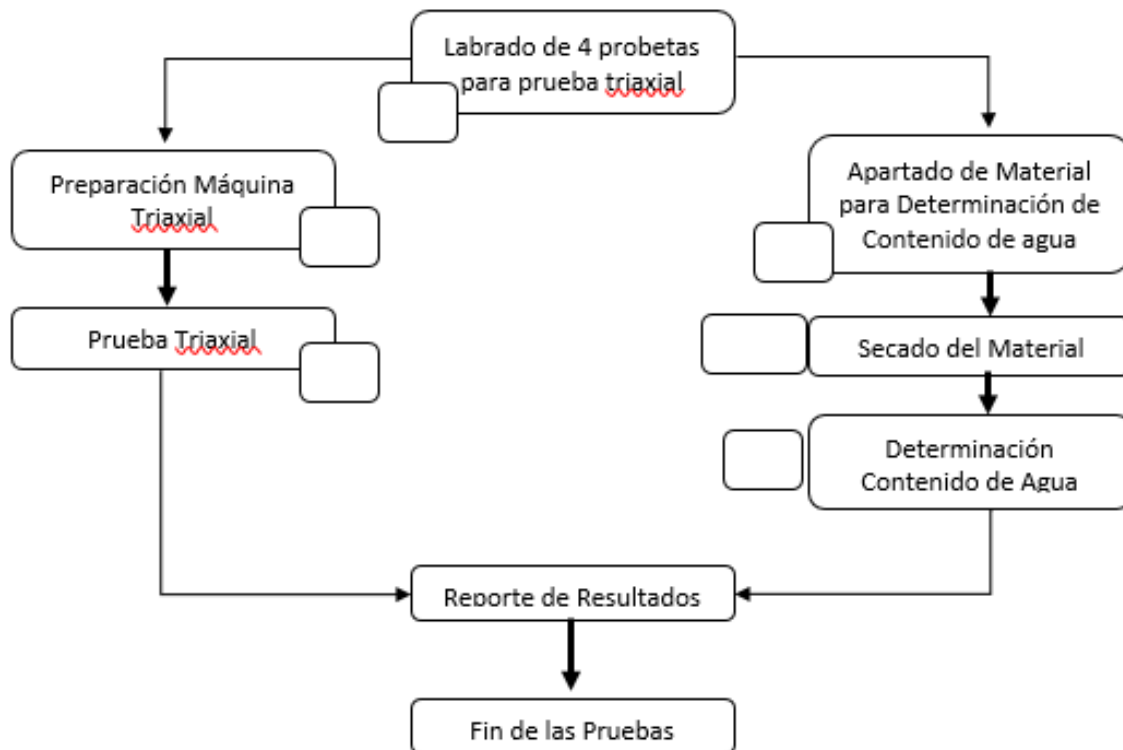
Fuente: Elaboración propia, datos aportados por el laboratorio.



ENCUESTA DE DURACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES

Procedimiento para atención órdenes de Prueba Triaxial

Personal Requerido: _____



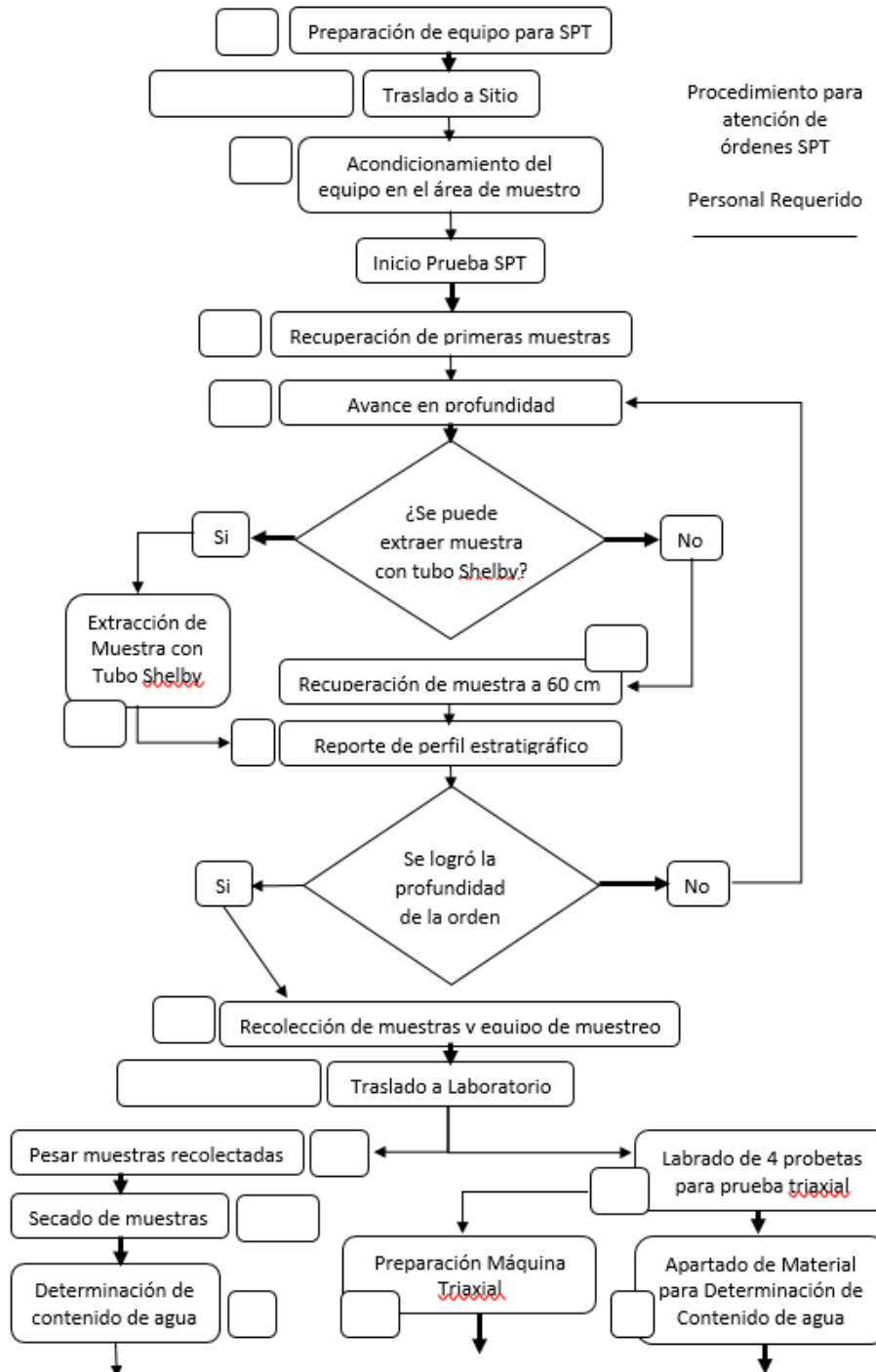
Fuente: Elaboración propia, datos aportados por el laboratorio.



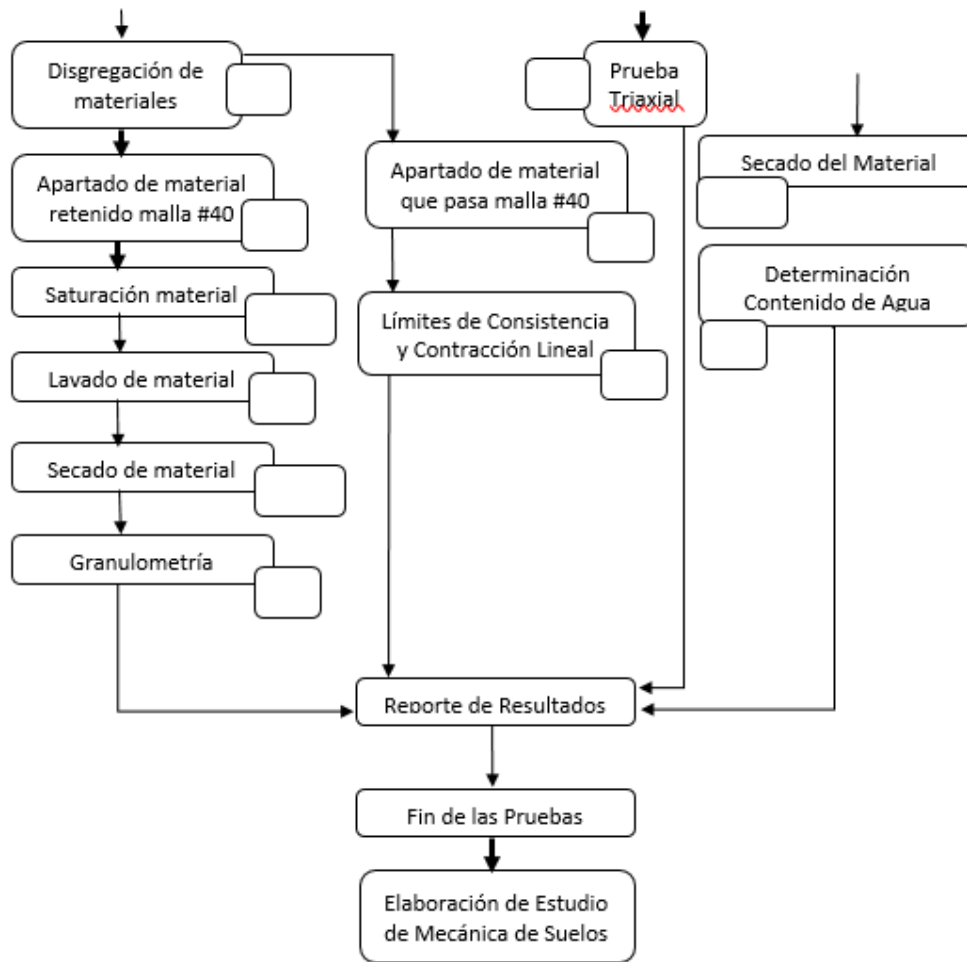
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CADENA DE SUMINISTRO



ENCUESTA DE DURACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES



Fuente: Elaboración propia, datos aportados por el laboratorio.



Fuente: Elaboración propia, datos aportados por el laboratorio.

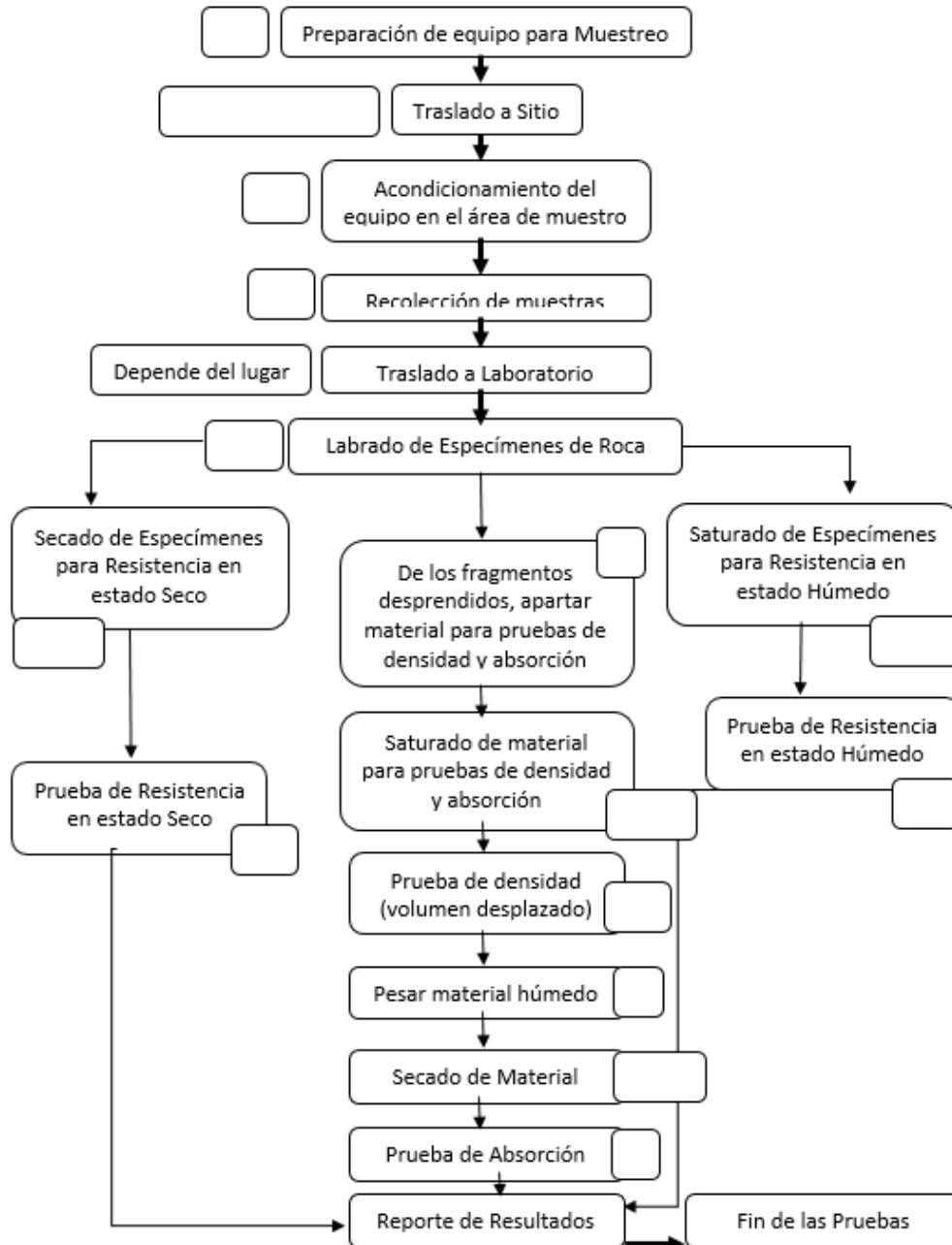


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CADENA DE SUMINISTRO



ENCUESTA DE DURACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES

Procedimiento para atención órdenes de Resistencia a compresión para especímenes de roca
Personal Requerido: _____



Fuente: Elaboración propia, datos aportados por el laboratorio.

• **Anexo A.5** Base formulario y resultados de encuesta



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CADENA DE SUMINISTRO



ENCUESTA DE VALORACION DE CRITERIOS PARA ELECCION DE LABORATORIOS DE MATERIALES

La presente encuesta tiene la finalidad de recabar información que será utilizada para desarrollar el tema de investigación “Mejora en la Atención de Órdenes de Trabajo para Aumentar el Nivel De Servicio de un Laboratorio de Análisis de Materiales para la Construcción” del alumno Josué Rojas Rodríguez con número de cuenta 0741303 que actualmente cursa el cuarto semestre de la Maestría en Ingeniería de la Cadena de Suministro.

Agradeciendo su apoyo, la forma para contestar la encuesta es la siguiente:

INSTRUCCIONES

Marce solo una opción de las siguientes

- 1) ¿Cuántos años tiene de experiencia en el ramo de la construcción?, marce solo una opción de las siguientes
 - Menos de 5 años
 - De 11 a 15 años
 - De 5 a 10 años
 - Más de 15 años

- 2) ¿Cuántos años ha sido cliente del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería?,
 - 0 a 5 años
 - de 6 a 10 años
 - más de 10 años

- 3) ¿Cuántos años tiene de conocer los servicios que ofrece el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería?
 - 0 a 5 años
 - de 6 a 10 años
 - más de 10 años

INSTRUCCIONES

Considerando una escala del 1 al 5, considerando 1 como nada importante y 5 como totalmente importante, por favor responda las siguientes preguntas

Al momento de contratar los servicios de un laboratorio de materiales, de acuerdo con su experiencia, como considera lo siguientes conceptos

- 4) Rapidez para realizar los muestreos:

1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

- 5) Rapidez en la entrega de resultados:

1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

- 6) Que el laboratorio cuente con acreditaciones:

1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

- 7) Cercanía para visitar las instalaciones de los laboratorios:

1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

- 8) Seguimiento a las solicitudes de trabajo:

1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

- 9) Calidad en la realización de los trabajos:

1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

- 10) Personal capacitado para realizar los muestreos y las pruebas

1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

- 11) Herramientas y equipos de vanguardia para realizar los trabajos:

1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

- 12) Calidad en la atención a la solicitud de trabajos

1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

- 13) Precio de las pruebas

1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

Fuente: Elaboración propia. Datos aportados por el laboratorio

1) ¿Cuántos años tiene de experiencia en el ramo de la construcción?

45 respuestas



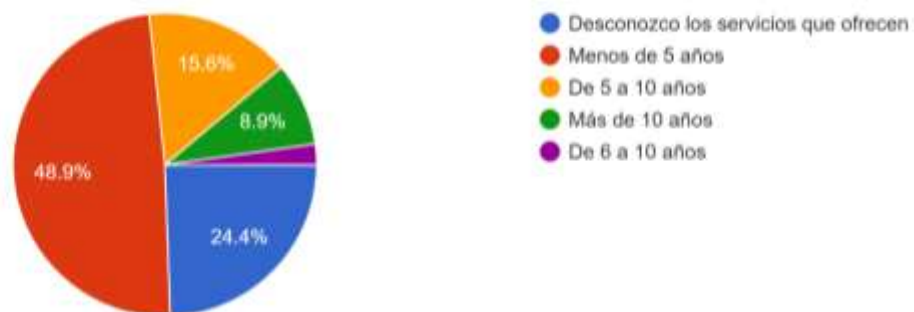
2) ¿Por cuántos años ha sido cliente del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería?

45 respuestas



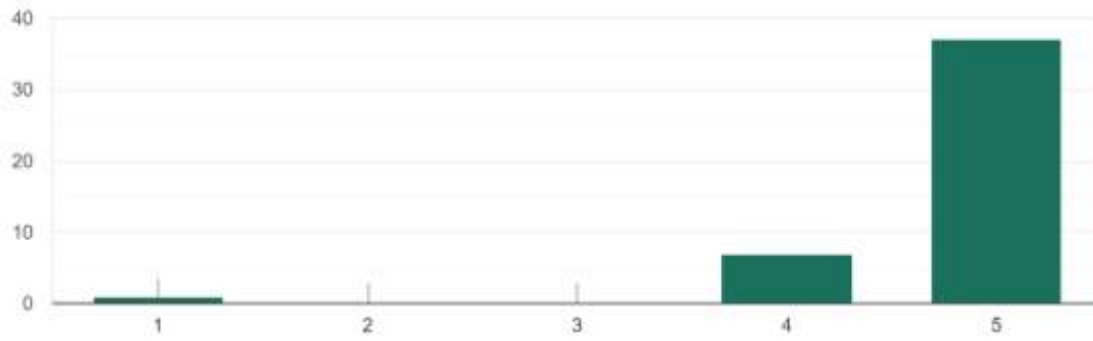
3) ¿Cuántos años tiene de conocer los servicios que ofrece el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería?

45 respuestas



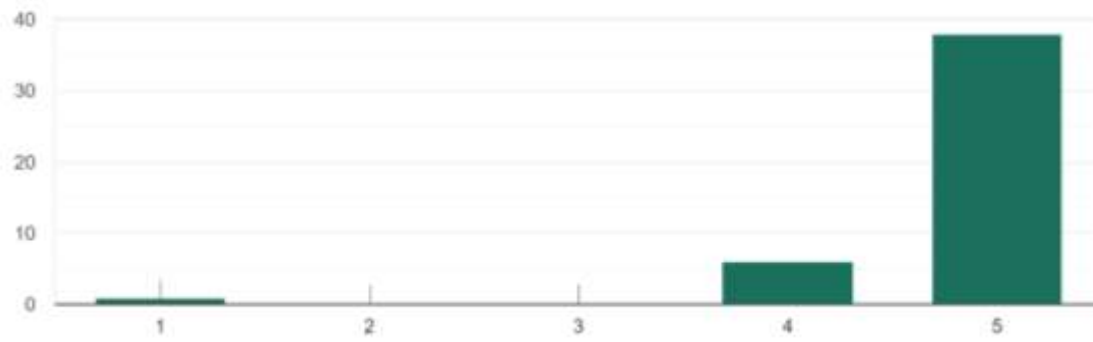
4) Rapidez para realizar los muestreos

45 respuestas



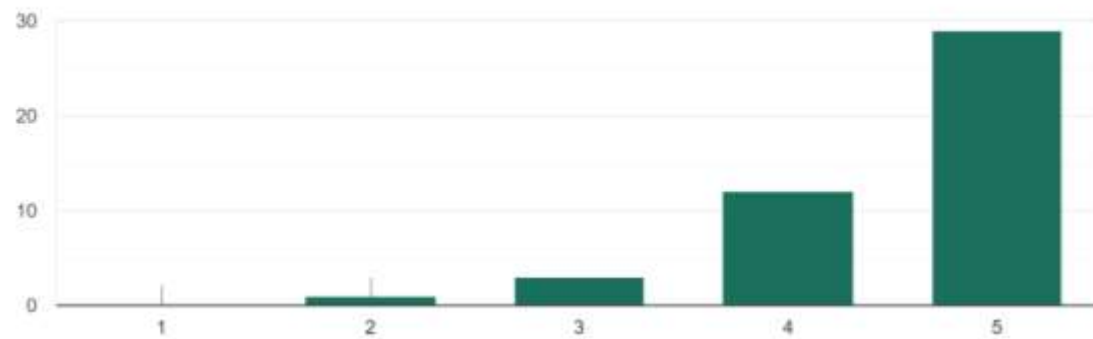
5) Rapidez en la entrega de resultados

45 respuestas



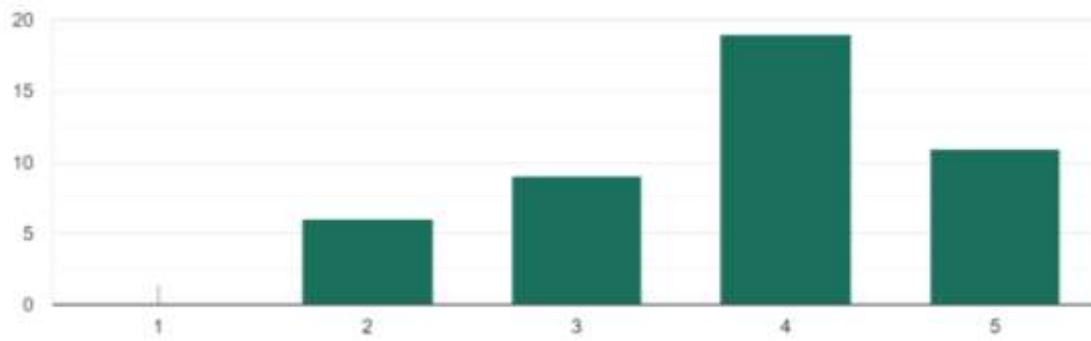
6) Que el laboratorio cuente con acreditaciones

45 respuestas



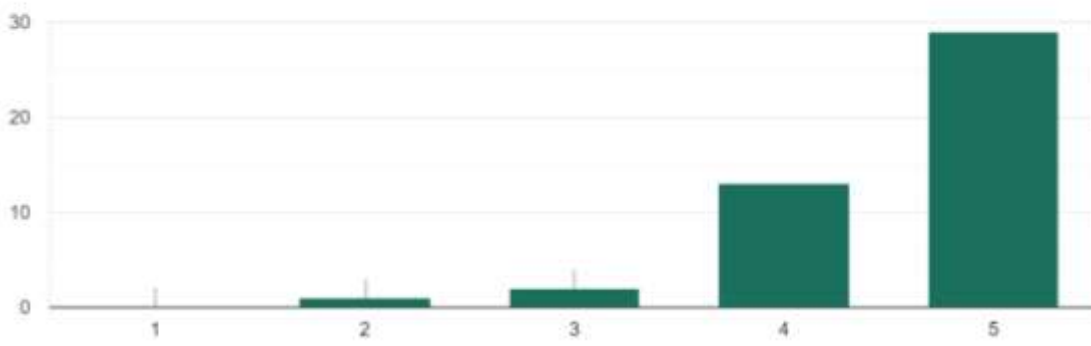
7) Cercanía para visitar las instalaciones de los laboratorios

45 respuestas



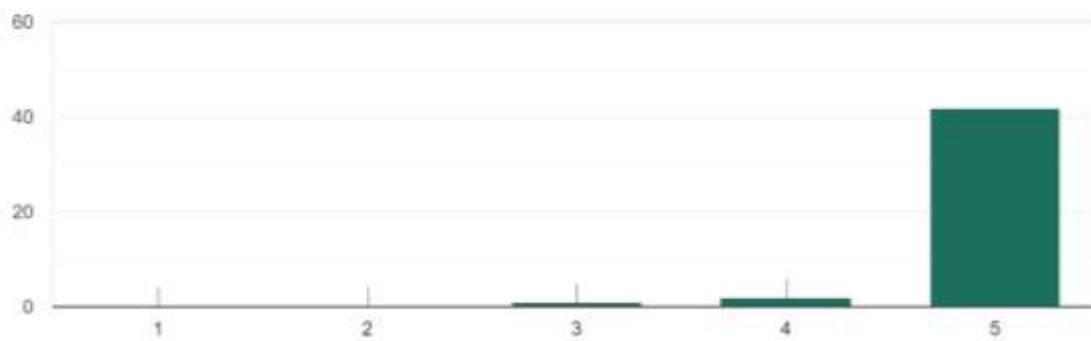
8) Seguimiento a las solicitudes de trabajo

45 respuestas



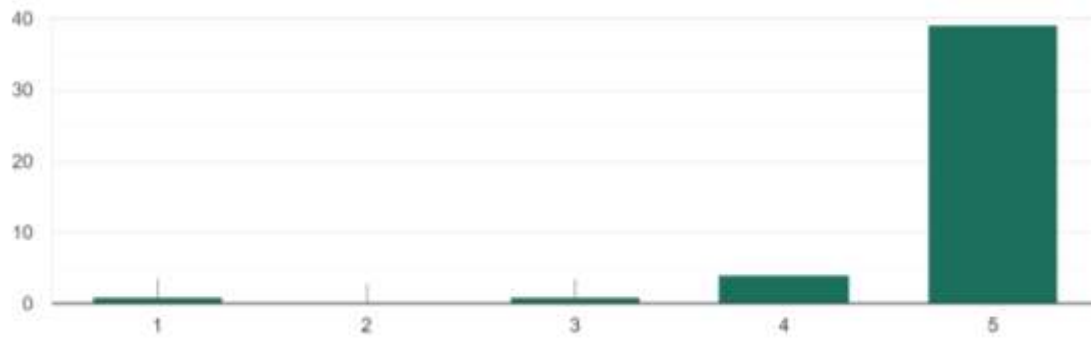
9) Calidad en la realización de los trabajos

45 respuestas



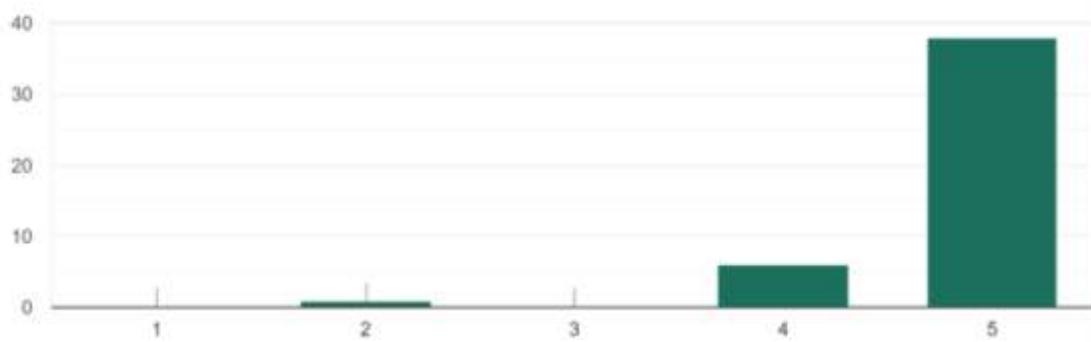
10) Personal capacitado para realizar los muestreos y las pruebas

45 respuestas



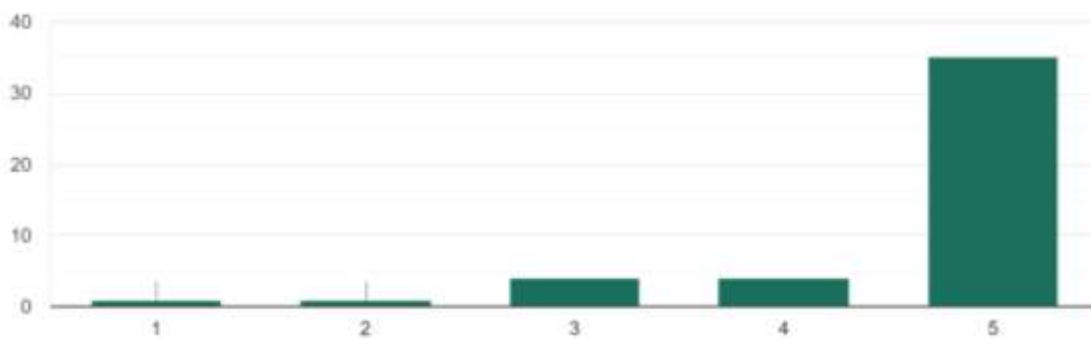
12) Calidad en la atención a la solicitud de trabajos

45 respuestas



13) Precio de las pruebas

45 respuestas



- **Anexo A.6** Probabilidades para retraso en el tiempo de confirmación (Febrero – Diciembre)

Delay tiempo de confirmación PRE Febrero			
Distribución	Tipo	Datos (días)	Valores
Acero (AC)	Probabilidad	0 3 4 5 11 14 15 18	0.083 0.042 0.042 0.083 0.042 0.083 0.042
		25 28 41 44 54 71	0.042 0.042 0.082 0.042 0.291 0.042 0.042
Concreto Asfáltico (CAS)		0 1 2 3 4 7 8 12	0.234 0.059 0.059 0.059 0.059 0.117 0.059
		14 24 27 36 58	0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059
Concreto Hidráulico (CHA)		0 1 4 18 27	0.125 0.5 0.125 0.125 0.125
Elementos Prefabricados (EP)		0 2 3 5 7 8 10 11	0.189 0.048 0.048 0.048 0.048 0.095 0.095 0.048
		17 22 34 41 54 138	0.048 0.095 0.047 0.095 0.048 0.048
Geotecnia (GA)	7 10 13 14 15 18	0.047 0.048 0.048 0.094 0.048 0.048	
	19 20 21 30 34 36	0.094 0.048 0.094 0.048 0.048 0.048	
	41 45 49 65 82 92	0.048 0.048 0.048 0.048 0.048 0.047	
Topografía (TOP)	1 12 24 28 48	0.2 0.2 0.2 0.2 0.2	
Múltiples (MULTI)	Conforme a GA y CHA		

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Delay tiempo de confirmación PRE Marzo			
Distribución	Tipo	Datos (días)	Valores
Acero (AC)	Probabilidad	0 3 4 5 11 14 15 18	0.083 0.042 0.042 0.083 0.042 0.083 0.042 0.042
		25 28 41 44 54 71	0.042 0.082 0.042 0.291 0.042 0.042
Concreto Asfáltico (CAS)		0 1 2 3 4 7 8 12	0.234 0.059 0.059 0.059 0.059 0.117 0.059 0.059
		14 24 27 36 58	0.059 0.059 0.059 0.059 0.059
Concreto Hidráulico (CHA)		0 2 5 6 7 8	0.214 0.072 0.072 0.143 0.072 0.072
		15 16 32 49 122	0.071 0.071 0.071 0.071 0.071
Elementos Prefabricados (EP)		0 2 3 5 7 8 10 11	0.189 0.048 0.048 0.048 0.048 0.095 0.095 0.048
	17 22 34 41 54 138	0.048 0.095 0.047 0.095 0.048 0.048	
Geotecnia (GA)	0 1 2 4 7 8 11	0.125 0.042 0.083 0.042 0.042 0.083 0.042	
	16 22 25 26 29 33 55	0.042 0.042 0.042 0.042 0.042 0.042 0.042	
	56 67 70 76 95 211	0.042 0.041 0.041 0.041 0.041 0.041	
Topografía (TOP)	1 12 24 28 48	0.2 0.2 0.2 0.2 0.2	
Múltiples (MULTI)	Conforme a GA y CHA		

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Delay tiempo de confirmación PRE Abril			
Distribución	Tipo	Datos (días)	Valores
Acero (AC)	Probabilidad	0 3 4 5 11 14 15 18 25 28 41 44 54 71	0.083 0.042 0.042 0.083 0.042 0.083 0.042 0.042 0.042 0.082 0.042 0.291 0.042 0.042
Concreto Asfáltico (CAS)		0 1 2 3 4 7 8 12 14 24 27 36 58	0.234 0.059 0.059 0.059 0.059 0.117 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059
Concreto Hidráulico (CHA)		0 1 2 4 7 8 11 16 22 25 26 29 33 55 56 67 70 76 95 211	0.125 0.042 0.083 0.042 0.042 0.083 0.042 0.042 0.042 0.042 0.042 0.042 0.042 0.042 0.042 0.041 0.041 0.041 0.041 0.041
Elementos Prefabricados (EP)		0 2 3 5 7 8 10 11 17 22 34 41 54 138	0.189 0.048 0.048 0.048 0.048 0.095 0.095 0.048 0.048 0.095 0.047 0.095 0.048 0.048
Geotecnia (GA)		0 1 4 5 7 8 20 28 44	0.474 0.105 0.105 0.053 0.053 0.053 0.053 0.052 0.052
Topografía (TOP)		1 12 24 28 48	0.2 0.2 0.2 0.2 0.2
Múltiples (MULTI)	Conforme a GA y CHA		

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Delay tiempo de confirmación PRE Mayo			
Distribución	Tipo	Datos (días)	Valores
Acero (AC)	Probabilidad	0 3 4 5 11 14 15 18 25 28 41 44 54 71	0.083 0.042 0.042 0.083 0.042 0.083 0.042 0.042 0.042 0.082 0.042 0.291 0.042 0.042
Concreto Asfáltico (CAS)		0 1 2 3 4 7 8 12 14 24 27 36 58	0.234 0.059 0.059 0.059 0.059 0.117 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059
Concreto Hidráulico (CHA)		0 1 2 4 7 10 15	0.429 0.143 0.143 0.071 0.071 0.071 0.072
Elementos Prefabricados (EP)		0 2 3 5 7 8 10 11 17 22 34 41 54 138	0.189 0.048 0.048 0.048 0.048 0.095 0.095 0.048 0.048 0.095 0.047 0.095 0.048 0.048
Geotecnia (GA)		0 2 3 6 7 8 10 13 19 20 21 24 28 29 31 32 33 35 58 62 79 94	0.104 0.035 0.035 0.035 0.035 0.07 0.035 0.035 0.035 0.069 0.034 0.034 0.103 0.034 0.034 0.034 0.069 0.034 0.034 0.034 0.034 0.034
Topografía (TOP)		1 12 24 28 48	0.2 0.2 0.2 0.2 0.2
Múltiples (MULTI)	Conforme a GA y CHA		

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Delay tiempo de confirmación PRE Junio			
Distribución	Tipo	Datos (días)	Valores
Acero (AC)	Probabilidad	0 3 4 5 11 14 15 18 25 28 41 44 54 71	0.083 0.042 0.042 0.083 0.042 0.083 0.042 0.042 0.042 0.082 0.042 0.291 0.042 0.042
Concreto Asfáltico (CAS)		0 1 2 3 4 7 8 12 14 24 27 36 58	0.234 0.059 0.059 0.059 0.059 0.117 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059
Concreto Hidráulico (CHA)		0 1 4 7 8 18 75	0.234 0.353 0.118 0.118 0.059 0.059 0.059
Elementos Prefabricados (EP)		0 2 3 5 7 8 10 11 17 22 34 41 54 138	0.189 0.048 0.048 0.048 0.048 0.095 0.095 0.048 0.048 0.095 0.047 0.095 0.048 0.048
Geotecnia (GA)	LogNormal		Media = 2.98 / Desviación estándar = 1.34
Topografía (TOP)	Probabilidad	1 12 24 28 48	0.2 0.2 0.2 0.2 0.2
Múltiples (MULTI)	Conforme a GA y CHA		

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Delay tiempo de confirmación PRE Julio			
Distribución	Tipo	Datos (días)	Valores
Acero (AC)	Probabilidad	0 3 4 5 11 14 15 18 25 28 41 44 54 71	0.083 0.042 0.042 0.083 0.042 0.083 0.042 0.042 0.042 0.082 0.042 0.291 0.042 0.042
Concreto Asfáltico (CAS)		0 1 2 3 4 7 8 12 14 24 27 36 58	0.234 0.059 0.059 0.059 0.059 0.117 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059
Concreto Hidráulico (CHA)		0 1 2 4 18 41 64	0.334 0.111 0.111 0.111 0.111 0.111 0.111
Elementos Prefabricados (EP)		0 2 3 5 7 8 10 11 17 22 34 41 54 138	0.189 0.048 0.048 0.048 0.048 0.095 0.095 0.048 0.048 0.095 0.047 0.095 0.048 0.048
Geotecnia (GA)		0 2 3 6 7 9 13 23 28 36 38 64 66 80 87 105 195	0.1 0.05 0.05 0.05 0.1 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.1 0.05 0.05 0.05 0.05
Topografía (TOP)		1 12 24 28 48	0.2 0.2 0.2 0.2 0.2
Múltiples (MULTI)	Conforme a GA y CHA		

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Delay tiempo de confirmación PRE Agosto			
Distribución	Tipo	Datos (días)	Valores
Acero (AC)	Probabilidad	0 3 4 5 11 14 15 18 25 28 41 44 54 71	0.083 0.042 0.042 0.083 0.042 0.083 0.042 0.042 0.042 0.082 0.042 0.291 0.042 0.042
Concreto Asfáltico (CAS)		0 1 2 3 4 7 8 12 14 24 27 36 58	0.234 0.059 0.059 0.059 0.059 0.117 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059
Concreto Hidráulico (CHA)		0 3 4 6 15 25	0.583 0.083 0.083 0.083 0.084 0.084
Elementos Prefabricados (EP)		0 2 3 5 7 8 10 11 17 22 34 41 54 138	0.189 0.048 0.048 0.048 0.048 0.095 0.095 0.048 0.048 0.095 0.047 0.095 0.048 0.048
Geotecnia (GA)		0 1 2 3 4 5 6 10 13 15 23 25 28 37 38 57 63 64 86 93 176	0.221 0.027 0.083 0.028 0.028 0.028 0.11 0.028 0.083 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.056 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028
Topografía (TOP)		1 12 24 28 48	0.2 0.2 0.2 0.2 0.2
Múltiples (MULTI)		Conforme a GA y CHA	

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Delay tiempo de confirmación PRE Septiembre			
Distribución	Tipo	Datos (días)	Valores
Acero (AC)	Probabilidad	0 3 4 5 11 14 15 18 25 28 41 44 54 71	0.083 0.042 0.042 0.083 0.042 0.083 0.042 0.042 0.042 0.082 0.042 0.291 0.042 0.042
Concreto Asfáltico (CAS)		0 1 2 3 4 7 8 12 14 24 27 36 58	0.234 0.059 0.059 0.059 0.059 0.117 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059
Concreto Hidráulico (CHA)		0 1 5 7 9 10 15 21 38	0.374 0.124 0.063 0.063 0.063 0.063 0.124 0.063 0.063
Elementos Prefabricados (EP)		0 2 3 5 7 8 10 11 17 22 34 41 54 138	0.189 0.048 0.048 0.048 0.048 0.095 0.095 0.048 0.048 0.095 0.047 0.095 0.048 0.048
Geotecnia (GA)		0 1 2 8 10 11 12 14 15 16 23 27 31 38 58 187	0.094 0.048 0.048 0.094 0.048 0.094 0.048 0.095 0.095 0.048 0.048 0.048 0.048 0.048 0.048 0.048
Topografía (TOP)		1 12 24 28 48	0.2 0.2 0.2 0.2 0.2
Múltiples (MULTI)		Conforme a GA y CHA	

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Delay tiempo de confirmación PRE Octubre			
Distribución	Tipo	Datos (días)	Valores
Acero (AC) Concreto Asfáltico (CAS) Concreto Hidráulico (CHA) Elementos Prefabricados (EP) Geotecnia (GA) Topografía (TOP)	Probabilidad	0 3 4 5 11 14 15 18 25 28 41 44 54 71	0.083 0.042 0.042 0.083 0.042 0.083 0.042 0.042 0.042 0.082 0.042 0.291 0.042 0.042
		0 1 2 3 4 7 8 12 14 24 27 36 58	0.234 0.059 0.059 0.059 0.059 0.117 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059
		0 1 2 6 9 50	0.467 0.2 0.067 0.133 0.067 0.067
		0 2 3 5 7 8 10 11 17 22 34 41 54 138	0.189 0.048 0.048 0.048 0.048 0.095 0.095 0.048 0.048 0.095 0.047 0.095 0.048 0.048
		0 1 4 7 8 9 14 16 21 28 29 34 40 41 42 55 56 69 107	0.142 0.036 0.036 0.106 0.036 0.036 0.106 0.036 0.071 0.036 0.036 0.036 0.036 0.036 0.036 0.036 0.071 0.036 0.036
		1 12 24 28 48	0.2 0.2 0.2 0.2 0.2
Múltiples (MULTI)	Conforme a GA y CHA		

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Delay tiempo de confirmación PRE Noviembre			
Distribución	Tipo	Datos (días)	Valores
Acero (AC) Concreto Asfáltico (CAS) Concreto Hidráulico (CHA) Elementos Prefabricados (EP) Geotecnia (GA) Topografía (TOP)	Probabilidad	0 3 4 5 11 14 15 18 25 28 41 44 54 71	0.083 0.042 0.042 0.083 0.042 0.083 0.042 0.042 0.042 0.082 0.042 0.291 0.042 0.042
		0 1 2 3 4 7 8 12 14 24 27 36 58	0.234 0.059 0.059 0.059 0.059 0.117 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059
		0 1 2 5 7 15	0.5 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1
		0 2 3 5 7 8 10 11 17 22 34 41 54 138	0.189 0.048 0.048 0.048 0.048 0.095 0.095 0.048 0.048 0.095 0.047 0.095 0.048 0.048
		0 1 3 6 7 8 11 18 30	0.214 0.072 0.143 0.143 0.072 0.143 0.071 0.071 0.071
		1 12 24 28 48	0.2 0.2 0.2 0.2 0.2
Múltiples (MULTI)	Conforme a GA y CHA		

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Delay tiempo de confirmación PRE Diciembre			
Distribución	Tipo	Datos (días)	Valores
Acero (AC)	Probabilidad	0 3 4 5 11 14 15 18 25 28 41 44 54 71	0.083 0.042 0.042 0.083 0.042 0.083 0.042 0.042 0.042 0.082 0.042 0.291 0.042 0.042
Concreto Asfáltico (CAS)		0 1 2 3 4 7 8 12 14 24 27 36 58	0.234 0.059 0.059 0.059 0.059 0.117 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059 0.059
Concreto Hidráulico (CHA)		1 9 13 38	0 1 11 12 13 18 20 28 34 35 36 38 53 54 57 80 86
Elementos Prefabricados (EP)		0 2 3 5 7 8 10 11 17 22 34 41 54 138	0.189 0.048 0.048 0.048 0.048 0.095 0.095 0.048 0.048 0.095 0.047 0.095 0.048 0.048
Geotecnia (GA)		0 1 11 12 13 18 20 28 34 35 36 38 53 54 57 80 86	0.052 0.158 0.052 0.052 0.052 0.052 0.052 0.053 0.053 0.053 0.053 0.053 0.053 0.053 0.053 0.053 0.053
Topografía (TOP)		1 12 24 28 48	0.2 0.2 0.2 0.2 0.2
Múltiples (MULTI)		Conforme a GA y CHA	

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

- **Anexo A.7** Verificación de generación de datos con respecto a preferencia por servicio (Febrero – Diciembre)

Mes	Servicios	Datos Reales	Datos Simulados	Diferencia Absoluta
Febrero	AC	6.98%	6.78%	0.20%
	CAS	0.00%	0.00%	0.00%
	CHA	14.98%	14.20%	0.78%
	EP	3.00%	2.85%	0.15%
	GEO	68.40%	69.98%	1.57%
	TOP	2.03%	1.62%	0.41%
	MULTI	4.60%	4.57%	0.03%
Varianza				0.0032%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Mes	Servicios	Datos Reales	Datos Simulados	Diferencia Absoluta
Marzo	AC	0.00%	0.00%	0.00%
	CAS	0.00%	0.00%	0.00%
	CHA	20.16%	15.68%	4.48%
	EP	5.40%	4.90%	0.51%
	GEO	58.51%	64.14%	5.63%
	TOP	5.04%	3.40%	1.64%
	MULTI	10.89%	11.89%	1.00%
Varianza				0.0510%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Mes	Servicios	Datos Reales	Datos Simulados	Diferencia Absoluta
Abril	AC	15.31%	13.79%	1.52%
	CAS	1.96%	1.47%	0.49%
	CHA	20.37%	20.20%	0.17%
	EP	3.10%	3.60%	0.51%
	GEO	52.77%	53.91%	1.15%
	TOP	1.96%	1.51%	0.45%
	MULTI	4.54%	5.52%	0.98%
Varianza				0.0022%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Mes	Servicios	Datos Reales	Datos Simulados	Diferencia Absoluta
Mayo	AC	0.00%	0.00%	0.00%
	CAS	4.52%	3.93%	0.59%
	CHA	20.34%	17.78%	2.56%
	EP	1.44%	1.89%	0.45%
	GEO	70.00%	72.93%	2.93%
	TOP	0.00%	0.00%	0.00%
	MULTI	3.70%	3.46%	0.24%
Varianza				0.0154%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Mes	Servicios	Datos Reales	Datos Simulados	Diferencia Absoluta
Junio	AC	2.28%	1.52%	0.76%
	CAS	5.88%	5.12%	0.76%
	CHA	15.95%	15.84%	0.11%
	EP	0.86%	0.95%	0.09%
	GEO	70.61%	71.83%	1.22%
	TOP	0.84%	0.85%	0.02%
	MULTI	3.58%	3.89%	0.31%
	Varianza			0.0021%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Mes	Servicios	Datos Reales	Datos Simulados	Diferencia Absoluta
Julio	AC	0.00%	0.00%	0.00%
	CAS	4.77%	4.69%	0.08%
	CHA	22.28%	20.03%	2.25%
	EP	0.00%	0.00%	0.00%
	GEO	66.84%	69.64%	2.80%
	TOP	0.00%	0.00%	0.00%
	MULTI	6.10%	5.63%	0.47%
	Varianza			0.0144%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Mes	Servicios	Datos Reales	Datos Simulados	Diferencia Absoluta
Agosto	AC	1.24%	0.99%	0.25%
	CAS	3.82%	3.76%	0.06%
	CHA	13.28%	12.46%	0.81%
	EP	2.20%	2.97%	0.77%
	GEO	69.91%	69.83%	0.08%
	TOP	0.67%	1.29%	0.62%
	MULTI	8.88%	8.70%	0.18%
	Varianza			0.0011%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Mes	Servicios	Datos Reales	Datos Simulados	Diferencia Absoluta
Septiembre	AC	1.36%	1.80%	0.43%
	CAS	4.86%	1.80%	3.06%
	CHA	13.97%	25.41%	11.44%
	EP	2.21%	0.77%	1.44%
	GEO	68.31%	70.23%	1.92%
	TOP	0.68%	0.00%	0.68%
	MULTI	8.60%	0.00%	8.60%
	Varianza			0.1866%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Mes	Servicios	Datos Reales	Datos Simulados	Diferencia Absoluta
Octubre	AC	4.09%	3.34%	0.75%
	CAS	0.94%	1.21%	0.26%
	CHA	18.88%	18.75%	0.13%
	EP	5.10%	5.97%	0.87%
	GEO	64.25%	64.20%	0.05%
	TOP	1.07%	1.07%	0.00%
	MULTI	5.66%	5.47%	0.20%
	Varianza			0.0012%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Mes	Servicios	Datos Reales	Datos Simulados	Diferencia Absoluta
Noviembre	AC	4.19%	1.93%	2.26%
	CAS	0.00%	0.00%	0.00%
	CHA	20.61%	20.72%	0.11%
	EP	3.17%	2.35%	0.82%
	GEO	65.69%	67.68%	1.99%
	TOP	2.15%	1.66%	0.49%
	MULTI	4.19%	5.66%	1.47%
	Varianza			0.0081%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

Mes	Servicios	Datos Reales	Datos Simulados	Diferencia Absoluta
Diciembre	AC	2.62%	1.15%	1.47%
	CAS	8.59%	10.13%	1.55%
	CHA	13.39%	12.24%	1.15%
	EP	2.18%	1.53%	0.65%
	GEO	66.52%	67.50%	0.97%
	TOP	0.00%	0.00%	0.00%
	MULTI	6.70%	7.46%	0.76%
Varianza				0.0028%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

- **Anexo A.8** Intervalos de Confianza (Enero – Diciembre)

ENERO			
Servicio	Límite Inferior	Límite Superior	Datos Fuera De Rango
Cantidad de PRE	2	30	4
AC	0	2	3
CAS	N/A	N/A	N/A
CHA	0	8	5
EP	0	1	2
GA	1	22	5
TOP	0	2	5
MULTI	0	1	4

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

FEBRERO			
Servicio	Límite Inferior	Límite Superior	Datos Fuera De Rango
Cantidad de PRE	4	37	1
AC	0	4	3
CAS	N/A	N/A	N/A
CHA	0	7	5
EP	0	2	2
GA	2	27	3
TOP	0	2	1
MULTI	0	3	3

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

MARZO			
Servicio	Límite Inferior	Límite Superior	Datos Fuera De Rango
Cantidad de PRE	0	22	3
AC	N/A	N/A	N/A
CAS	N/A	N/A	N/A
CHA	0	5	3
EP	0	2	4
GA	0	15	4
TOP	0	2	4
MULTI	0	4	4

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

ABRIL			
Servicio	Límite Inferior	Límite Superior	Datos Fuera De Rango
Cantidad de PRE	0	45	4
AC	0	8	4
CAS	0	2	1
CHA	0	11	3
EP	0	3	3
GA	0	25	1
TOP	0	2	0
MULTI	0	4	4

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

MAYO			
Servicio	Límite Inferior	Límite Superior	Datos Fuera De Rango
Cantidad de PRE	0	27	3
AC	N/A	N/A	N/A
CAS	0	2	4
CHA	0	7	3
EP	0	1	2
GA	0	20	1
TOP	N/A	N/A	N/A
MULTI	0	2	1

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

JUNIO			
Servicio	Límite Inferior	Límite Superior	Datos Fuera De Rango
Cantidad de PRE	2	61	4
AC	0	2	1
CAS	0	4	2
CHA	0	12	2
EP	0	2	4
GA	1	44	4
TOP	0	2	0
MULTI	0	4	5

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

JULIO			
Servicio	Límite Inferior	Límite Superior	Datos Fuera De Rango
Cantidad de PRE	0	14	4
AC	N/A	N/A	N/A
CAS	0	2	4
CHA	0	4	3
EP	N/A	N/A	N/A
GA	0	11	3
TOP	N/A	N/A	N/A
MULTI	0	2	4

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

AGOSTO			
Servicio	Límite Inferior	Límite Superior	Datos Fuera De Rango
Cantidad de PRE	0	21	2
AC	0	1	0
CAS	0	2	1
CHA	0	4	0
EP	0	2	0
GA	0	16	1
TOP	0	1	2
MULTI	0	3	3

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

SEPTIEMBRE			
Servicio	Límite Inferior	Límite Superior	Datos Fuera De Rango
Cantidad de PRE	0	24	4
AC	0	1	5
CAS	0	1	2
CHA	0	8	1
EP	0	1	1
GA	0	18	3
TOP	N/A	N/A	N/A
MULTI	N/A	N/A	N/A

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

OCTUBRE			
Servicio	Límite Inferior	Límite Superior	Datos Fuera De Rango
Cantidad de PRE	0	30	4
AC	0	2	3
CAS	0	2	1
CHA	0	7	3
EP	0	3	1
GA	0	20	2
TOP	0	1	1
MULTI	0	3	1

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

NOVIEMBRE			
Servicio	Límite Inferior	Límite Superior	Datos Fuera De Rango
Cantidad de PRE	0	17	
AC	0	1	3
CAS	N/A	N/A	N/A
CHA	0	4	3
EP	0	1	2
GA	0	12	0
TOP	0	1	2
MULTI	0	2	0

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

DICIEMBRE			
Servicio	Límite Inferior	Límite Superior	Datos Fuera De Rango
Cantidad de PRE	0	12	2
AC	0	1	0
CAS	0	2	3
CHA	0	3	3
EP	0	1	1
GA	0	9	2
TOP	N/A	N/A	N/A
MULTI	0	2	0

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

- **Anexo A.9** KPI obtenidos con el modelo de simulación (Febrero – Diciembre)

FEBRERO								
KPI / Servicio	AC	CAS	CHA	EP	GA	TOP	MULTI	Total
PRE	138	0	289	58	1424	33	93	2035
OT	27	0	155	8	224	0	30	444
RECHA	67	0	105	47	880	33	37	1169
%CS	19.57%	0.00%	53.63%	13.79%	15.73%	0.00%	32.26%	
OTPC	44	0	29	3	320	0	26	422
%OTPC	162.96%	0.00%	10.03%	5.17%	22.47%	0.00%	27.96%	
%OTTPC	20.74%							
%CT	21.82%							
OA	27	0	97	7	160	0	19	310
OEA	0	0	58	1	64	0	11	134
%OA	100.00%	0.00%	62.58%	87.50%	71.43%	0.00%	63.33%	69.82%
WIP	0.00%	0.00%	37.42%	12.50%	28.57%	0.00%	36.67%	30.18%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

MARZO								
KPI / Servicio	AC	CAS	CHA	EP	GA	TOP	MULTI	Total
PRE	0	0	157	49	642	34	119	1001
OT	0	0	89	8	90	5	35	227
RECHA	0	0	35	40	451	22	62	610
%CS	0.00%	0.00%	56.69%	16.33%	14.02%	14.71%	29.41%	
OTPC	0	0	33	1	101	7	22	164
%OTPC	0.00%	0.00%	21.02%	2.04%	15.73%	20.59%	18.49%	
%OTTPC	16.38%							
%CT	22.68%							
OA	0	0	58	8	74	3	22	165
OEA	0	0	31	0	16	2	13	62
%OA	0.00%	0.00%	65.17%	100.00%	82.22%	60.00%	62.86%	72.69%
WIP	0.00%	0.00%	34.83%	0.00%	17.78%	40.00%	37.14%	27.31%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

ABRIL								
KPI / Servicio	AC	CAS	CHA	EP	GA	TOP	MULTI	Total
PRE	310	33	454	81	1212	34	124	2248
OT	45	1	250	0	160	0	35	491
RECHA	187	32	157	81	766	34	55	1312
%CS	14.52%	3.03%	55.07%	0.00%	13.20%	0.00%	28.23%	
OTPC	78	0	47	0	286	0	34	445
%OTPC	173.33%	0.00%	10.35%	0.00%	23.60%	0.00%	27.42%	
%OTTPC	19.80%							
%CT	21.84%							
OA	41	1	149	0	115	0	24	330
OEA	4	0	101	0	45	0	11	161
%OA	91.11%	100.00%	59.60%	0.00%	71.88%	0.00%	68.57%	67.21%
WIP	8.89%	0%	40.40%	0.00%	28.13%	0.00%	31.43%	32.79%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

MAYO								
KPI / Servicio	AC	CAS	CHA	EP	GA	TOP	MULTI	Total
PRE	0	50	226	24	927	0	44	1271
OT	0	1	189	4	134	0	11	339
RECHA	0	48	23	15	620	0	28	734
%CS	0.00%	2.00%	83.63%	16.67%	14.46%	0.00%	25.00%	
OTPC	0	1	14	5	173	0	5	198
%OTPC	0.00%	2.00%	6.19%	20.83%	18.66%	0.00%	11.36%	
%OTTPC	15.58%							
%CT	26.67%							
OA	0	1	120	4	107	0	8	240
OEA	0	0	69	0	27	0	3	99
%OA	0.00%	100.00%	63.49%	100.00%	79.85%	0.00%	72.73%	70.80%
WIP	0.00%	0%	36.51%	0.00%	20.15%	0.00%	27.27%	29.20%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

JUNIO								
KPI / Servicio	AC	CAS	CHA	EP	GA	TOP	MULTI	Total
PRE	48	162	501	30	2272	27	123	3163
OT	3	55	245	6	674	0	55	1038
RECHA	35	92	215	22	1598	27	63	2052
%CS	6.25%	33.95%	48.90%	20.00%	29.67%	0.00%	44.72%	
OTPC	10	15	41	2	0	0	5	73
%OTPC	333.33%	9.26%	8.18%	6.67%	0.00%	0.00%	4.07%	
%OTTPC	2.31%							
%CT	32.82%							
OA	3	52	151	5	556	0	38	805
OEA	0	3	94	1	118	0	17	233
%OA	100.00%	94.55%	61.63%	83.33%	82.49%	0.00%	69.09%	77.55%
WIP	0.00%	5%	38.37%	16.67%	17.51%	0.00%	30.91%	22.45%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

JULIO								
KPI / Servicio	AC	CAS	CHA	EP	GA	TOP	MULTI	Total
PRE	0	30	128	0	445	0	36	639
OT	0	10	58	0	65	0	8	141
RECHA	0	13	46	0	270	0	23	352
%CS	0.00%	33.33%	45.31%	0.00%	14.61%	0.00%	22.22%	
OTPC	0	7	24	0	110	0	5	146
%OTPC	0.00%	23.33%	18.75%	0.00%	24.72%	0.00%	13.89%	
%OTTPC	22.85%							
%CT	22.07%							
OA	0	10	42	0	56	0	8	116
OEA	0	0	16	0	9	0	0	25
%OA	0.00%	100.00%	72.41%	0.00%	86.15%	0.00%	100.00%	82.27%
WIP	0.00%	0%	27.59%	0.00%	13.85%	0.00%	0.00%	17.73%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

AGOSTO								
KPI / Servicio	AC	CAS	CHA	EP	GA	TOP	MULTI	Total
PRE	10	38	126	30	706	13	88	1011
OT	0	3	46	2	197	0	33	281
RECHA	10	35	67	26	377	13	38	566
%CS	0.00%	7.89%	36.51%	6.67%	27.90%	0.00%	37.50%	
OTPC	0	0	13	2	132	0	17	164
%OTPC	0.00%	0.00%	10.32%	6.67%	18.70%	0.00%	19.32%	
%OTTPC	16.22%							
%CT	27.79%							
OA	0	3	26	2	173	0	25	229
OEA	0	0	20	0	24	0	8	52
%OA	0.00%	100.00%	56.52%	100.00%	87.82%	0.00%	75.76%	81.50%
WIP	0.00%	0%	43.48%	0.00%	12.18%	0.00%	24.24%	18.50%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

SEPTIEMBRE								
KPI / Servicio	AC	CAS	CHA	EP	GA	TOP	MULTI	Total
PRE	21	21	297	9	821	0	0	1169
OT	0	0	176	0	111	0	0	287
RECHA	21	21	71	8	613	0	0	734
%CS	0.00%	0.00%	59.26%	0.00%	13.52%	0.00%	0.00%	
OTPC	0	0	50	1	97	0	0	148
%OTPC	0.00%	0.00%	16.84%	11.11%	11.81%	0.00%	0.00%	
%OTTPC	12.66%							
%CT	24.55%							
OA	0	0	109	0	96	0	0	205
OEA	0	0	67	0	15	0	0	82
%OA	0.00%	0.00%	61.93%	0.00%	86.49%	0.00%	0.00%	71.43%
WIP	0.00%	0.00%	38.07%	0.00%	13.51%	0.00%	0.00%	28.57%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

OCTUBRE								
KPI / Servicio	AC	CAS	CHA	EP	GA	TOP	MULTI	Total
PRE	47	17	264	84	904	15	77	1408
OT	0	1	148	24	152	1	25	351
RECHA	47	14	97	51	597	13	37	856
%CS	0.00%	5.88%	56.06%	28.57%	16.81%	6.67%	32.47%	
OTPC	0	2	19	9	155	1	15	201
%OTPC	0.00%	11.76%	7.20%	10.71%	17.15%	6.67%	19.48%	
%OTTPC	14.28%							
%CT	24.93%							
OA	0	1	93	24	128	1	21	268
OEA	0	0	55	0	24	0	4	83
%OA	0.00%	100.00%	62.84%	100.00%	84.21%	100.00%	84.00%	76.35%
WIP	0.00%	0%	37.16%	0.00%	15.79%	0.00%	16.00%	23.65%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

NOVIEMBRE								
KPI / Servicio	AC	CAS	CHA	EP	GA	TOP	MULTI	Total
PRE	14	0	150	17	490	12	41	724
OT	0	0	83	4	106	1	19	213
RECHA	13	0	62	12	358	9	21	475
%CS	0.00%	0.00%	55.33%	23.53%	21.63%	8.33%	46.34%	
OTPC	1	0	5	1	26	2	1	36
%OTPC	0.00%	0.00%	3.33%	5.88%	5.31%	16.67%	2.44%	
%OTTPC	4.97%							
%CT	29.42%							
OA	0	0	55	4	91	1	12	163
OEA	0	0	28	0	15	0	7	50
%OA	0.00%	0.00%	66.27%	100.00%	85.85%	100.00%	63.16%	76.53%
WIP	0.00%	0.00%	33.73%	0.00%	14.15%	0.00%	36.84%	23.47%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio

DICIEMBRE								
KPI / Servicio	AC	CAS	CHA	EP	GA	TOP	MULTI	Total
PRE	6	53	64	8	353	0	39	523
OT	0	6	17	0	62	0	8	93
RECHA	4	47	33	6	207	0	18	315
%CS	0.00%	11.32%	26.56%	0.00%	17.56%	0.00%	20.51%	
OTPC	2	0	14	2	84	0	13	115
%OTPC	0.00%	0.00%	21.88%	25.00%	23.80%	0.00%	33.33%	
%OTTPC	21.99%							
%CT	17.78%							
OA	0	6	10	0	56	0	7	79
OEA	0	0	7	0	6	0	1	14
%OA	0.00%	100.00%	58.82%	0.00%	90.32%	0.00%	87.50%	84.95%
WIP	0.00%	0%	41.18%	0.00%	9.68%	0.00%	12.50%	15.05%

Fuente: Elaboración propia. Datos proporcionados por el laboratorio.