Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Matemáticas
Escuela Profesional de Investigación Operativa

Reducción del tiempo de espera en la atención telefónica en la empresa ICEP Minerales S.A.C. aplicando simulación de sistemas

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Licenciada en Investigación Operativa

AUTOR

Joselyn Bertha LEON MESAGIL

ASESOR

Mg. Lucy Haydee DE LA CRUZ CUADROS

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Leon, J. (2022). *Reducción del tiempo de espera en la atención telefónica en la empresa ICEP Minerales S.A.C. aplicando simulación de sistemas*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Escuela Profesional de Investigación Operativa]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Joselyn Bertha Leon Mesagil
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	48014143
URL de ORCID	-
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Lucy Haydee De la Cruz Cuadros
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06554824
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-9788-1531
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Carlos Enrique Calderón Rodríguez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09910975
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Flor Cagniy Cárdenas Mariño
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	45422233
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.3.3.2. Procesos estocásticos y simulación

Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima Coordenadas geográficas Latitud: -12.058333 Longitud: -77.083333
Año o rango de años en que se realizó la investigación	julio 2022
URL de disciplinas OCDE	Matemáticas aplicadas https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú. Decana de América

DECANATO

Anexo 6

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL EN LA MODALIDAD VIRTUAL PARA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO(A) EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA

(PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL 2022-I)

En la Ciudad Universitaria, Facultad de Ciencias Matemáticas, siendo las 16:00 horas del día sábado 23de julio del año 2022, se reunieron los docentes designados como Miembros del Jurado Evaluador del Trabajo de Suficiencia Profesional:

Lic. Carlos Enrique Calderón Rodríguez	(Presidente)
Mg. Flor Cagniy Cárdenas Mariño	(Miembro)
Mg. Lucy Haydee De la Cruz Cuadros	(Miembro-Asesor)

Para la sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional intitulada: REDUCCIÓN DEL TIEMPO DE ESPERA EN LA ATENCIÓN TELEFÓNICA EN LA EMPRESA ICEP MINERALES S.A.C. APLICANDO SIMULACIÓN DE SISTEMAS, presentada por la señorita Bachiller **Leon Mesagil, Joselyn Bertha**, para obtener el Título Profesional de Licenciada en Investigación Operativa.

Luego de la exposición del Trabajo de Suficiencia Profesional, el Presidente invitó a la expositora a dar respuesta a las preguntas formuladas.

Realizada la evaluación correspondiente por los miembros del jurado, la expositora mereció la aprobación ***sobresaliente*** con un calificativo promedio de dieciocho (18)

A continuación, los miembros del jurado dan manifiesto que la participante señorita Bachiller Leon Mesagil, Joselyn Bertha, en virtud de haber aprobado la sustentación de su Trabajo de Suficiencia Profesional, será propuesto para que se le otorgue el Título Profesional de Licenciada en Investigación Operativa.

Siendo las 16:30 horas, se levantó la Sesión, firmando para constancia la presente Acta en tres (3) copias originales o archivo PDF.

PRESIDENTE
Lic. Carlos Enrique Calderón Rodríguez

MIEMBRO
Mg. Flor Cagniy Cárdenas Mariño

MIEMBRO-ASESOR
Mg. Lucy Haydee De la Cruz Cuadros

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Lucy Haydee De la Cruz Cuadros, en mi condición de asesora acreditada con la Resolución Decanal N° 000976-2022-D-FCM/UNMSM del de Trabajo de Suficiencia Profesional titulado “REDUCCIÓN DEL TIEMPO DE ESPERA EN LA ATENCIÓN TELEFÓNICA EN LA EMPRESA ICEP MINERALES S.A.C. APLICANDO SIMULACIÓN DE SISTEMAS” presentado por la bachiller: JOSELYN BERTHA LEON MESAGIL, para optar el título profesional de: Licenciada en Investigación Operativa.

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 19 % de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título en la especialidad correspondiente.





Firma de la Asesora:
DNI: 06554824
Nombres y apellidos de la asesora:
Mg. Lucy Haydee De la Cruz Cuadros

Dedicatoria

A mi madre porque en el tiempo que estuvo a mi lado supo inculcar en mí el deseo de superación constante, a mi padre por haber sido mi motivación en la realización de este trabajo y a mi familia por haber sido mi apoyo en toda esta etapa.

Agradecimiento

A mis maestros que con sus enseñanzas
me guiaron en la realización de este trabajo.

Resumen

Reducción del tiempo de espera en la atención telefónica en la empresa ICEP minerales S.A.C. aplicando simulación de sistemas

Joselyn Bertha León Mesagil

Julio 2022

Título obtenido : Licenciada en Investigación Operativa

En la empresa ICEP se requiere aminorar el tiempo de espera promedio en las distintas franjas horarias determinando la cantidad necesaria de servidores para cubrir la demanda en todas las franjas horarias, para ello, se aplicó la simulación al proceso de atención telefónica. Para el uso de esta herramienta se realizó la recolección de información mediante entrevistas a los jefes del personal, se elaborará la solicitud para la extracción de datos sobre la demanda de llamadas en los últimos dos años, con estos datos se hicieron pruebas estadísticas como dócima de bondad de ajuste, para hallar la distribución de los arribos de las llamadas, se definieron los escenarios a simular de los cuales se obtuvieron los resultados posibles.

Finalmente se analizaron los resultados y se escogió la mejor solución al problema de reducción de tiempos promedio de espera.

Palabras clave: Simulación, Centro de llamadas, Tiempo de espera, Servidores, franjas horarias.

Abstract

Reduction of the waiting time in the telephone attention in the company ICEP Minerals S.A.C. applying system simulation

Joselyn Bertha León Mesagil

July 2022

Grade obtained : Graduate in Operations Research

In the ICEP company, it is necessary to reduce the average waiting time in the different time bands, determining the necessary number of servers to cover the demand in all the bands, for this, the simulation was applied to the telephone service process. For the use of this tool, information was collected through interviews with the heads of staff, the request for the extraction of data on the demand for calls in the last two years will be prepared, with these data statistical tests were made as a test of goodness of fit, to find the distribution of the arrivals of the calls, the scenarios to be simulated were defined from which the possible results were obtained.

Finally, the results were analyzed and the best solution to the problem of reducing average waiting times was chosen.

Keywords: Simulation, Call center, Waiting time, Servers, time zones.

ÍNDICE GENERAL

Índice General v
Índice de figuras vii
Índice de Tablas viii
1. Capítulo I: INTRODUCCIÓN 1
2. Capitulo II: Información del lugar donde se llevó a cabo la actividad 3
2.1. ICEP MINERALES S.A.C 3
2.2.- Periodo de duración de la actividad 3
2.3.- Misión de la empresa 3
2.4.- Datos de la empresa 3
3. Capitulo III: Descripción de la actividad 4
3.1. Justificación 4
3.1.1. Fundamentación teórica 4
3.1.2. Fundamentación práctica 4
3.1.3. Fundamentación metodológica 4
3.2. Objetivos 5
3.2.1.-Objetivo principal 5
3.2.2. Objetivos específicos 5
3.3.-Situación problemática 5
3.3.1. Formulación del problema 7
3.3.2. Pregunta general 7
3.3.3. Preguntas específicas 7
3.4.-Descripción del proceso del sistema 7
3.5.-Diseño metodológico. 10
3.5.1.-Recolección de información 10
3.6.-Variables Endógena 10
3.6.1.-Tiempo de espera promedio 11
3.6.2.-Tiempo promedio de servicio o tiempo medio de operación (TMO) 12
3.7.-Medidas de Rendimiento del centro de llamadas (KPIs) 12
3.8.-Parámetros en la simulación 13
3.9.- Simulación de sistemas 13
3.10.-Software Arena 13
3.10.1.-Módulos 13
3.11.-Análisis de datos utilizando herramientas TI 15

3.12.-Procesamiento de datos 15
3.12.1 Datos de entrada 15
3.12.2 Arribo de llamadas por intervalo de media hora 15
3.12.3 Tiempo de espera promedio por franja horaria por mes 17
3.13. Comprobación del tipo de distribución probabilística utilizando Input Analyzer 18
3.14.- Modelo de Simulación 21
3.15.-Replicación o número de replicas en el modelo de simulación 23
3.16 Cálculo del número del período de calentamiento 25
3.17.-Resultados del modelo de simulación 27
3.18.- Interpretación de los resultados 29
3.19.- Análisis económico sobre resultados obtenidos 29
3.19.1.-Costo de pérdida de oportunidad: 29
4. Capitulo IV: Conclusiones 32
5. Capitulo V: Recomendaciones 33
Bibliografía 34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1
Centro de llamadas de atencion al cliente 6
Figura 2
Interfaz de logueo..... 9
Figura 3
Diagrama de cajas 16
Figura 4
Resultado de distribución por Input Analyzer..... 19
Figura 5
Errores cuadráticos por tipo de distribución estadística 20
Figura 6
Modelo del sistema en Arena 22
Figura 7
Grafica de promedio móvil de tiempos de servicio..... 27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 14
Principales módulos del software Arena 14
Tabla 2 16
Distribución de franjas horarias 16
Tabla 3 17
Tiempos promedios de espera 17
Tabla 4 18
Servidores promedio por franja horaria 18
Tabla 5 20
Distribuciones estadísticas para tiempos entre arribos por franja horaria 20
Tabla 6 21
Distribución estadística para tiempo promedio de servicio. 21
Tabla 7 24
Resultado de réplicas realizadas en el modelo de simulación 24
Tabla 8 24
Resultado de datos estadísticos para calcular el número de replicas. 24
Tabla 9 26
Promedio móvil del valor agregado 26
Tabla 10 28
Resultados por escenarios en la simulación 28
Tabla 11 30
Costo de pérdida de oportunidad por escenario 30
Tabla 12 31
Análisis económico por escenarios 31

Capítulo I: INTRODUCCIÓN

La empresa Ingeniería, Consultoría y Ejecución de Proyectos Minerales Sociedad Anónima Cerrada, en adelante ICEP S.A.C., se dedica a la consultoría y elaboración de proyectos de extracción de minerales; este trabajo de investigación se centra en el área de Consultoría, dicha área cuenta con un centro de llamadas, objeto de estudio de la presente investigación, donde se realiza la primera atención al cliente; esta atención puede derivar en una cita donde los distintos consultores elaboran y posteriormente ejecutan un plan o proyecto de extracción minera.

El área de atención de llamadas tiene como objetivo la atención de todos los clientes que se comunican para solicitar una consultoría, sin embargo, actualmente ese objetivo no se cumple, debido a que no se atiende la totalidad de llamadas debido a que en los horarios de mayor demanda no se cuenta con suficientes servidores ocasionando que el cliente espere durante un tiempo prolongado, motivo por el cual, con frecuencia, abandona la llamada generando la pérdida de un potencial cliente.

El proceso de atención de llamadas está representado como un sistema de espera, teniendo como entrada a los clientes que solicitan una consultoría, los cuales ingresan a la cola si no existen servidores libres, a la espera de ser atendidos, una vez el cliente logra ser atendido abandona la línea de espera y pasa a ser atendido por alguno de los servidores disponibles en el centro de llamadas, recibe la atención de consultoría y sale del sistema de espera. La empresa ICEP SAC se ha propuesto como meta que el tiempo de espera promedio sea menor a 20 segundos, fijando esto como un indicador de calidad, ya que actualmente el tiempo de espera promedio es mayor a 20 segundos.

El objetivo de la presente investigación es minimizar los tiempos promedio de espera en el área de atención de llamadas, reduciéndolos a menos de 20 segundos, para ello se aplicará un modelo de simulación de sistemas de espera que permita asignar una cantidad apropiada de servidores en los distintos horarios de la empresa, lo que garantiza que no se incurra en gastos excesivos por contratación de personal y se permita atender las llamadas con inmediatez.

Para la aplicación de la simulación se recogerá datos del flujo de llamadas en los últimos dos años, con el fin de conocer la distribución que sigue el arribo de las llamadas utilizando la prueba de dócima de bondad de ajuste, la cual nos ayudará a

encontrar la distribución de probabilidad que siguen los arribos de las llamadas y el tiempo medio de operación (tiempo promedio de servicio); con esta información se construyó un modelo de simulación de líneas de espera en el software Arena, así mismo se realizó una entrevista al jefe de personal con el fin de conocer la cantidad actual de agentes telefónicos(servidores).

La investigación está formada por:

En el capítulo I, se muestra de manera general los objetivos y la estructura del trabajo de investigación.

En el capítulo II, se presenta el lugar de desarrollo de la actividad: el nombre de la empresa, la duración de la actividad, los objetivos, la finalidad y la información relevante acerca de la empresa.

En el capítulo III, se aborda la fundamentación del trabajo de suficiencia profesional, en adelante TSP, sus objetivos, la problemática, la metodología empleada, procedimientos para la realización del TSP y los resultados obtenidos.

En el capítulo IV, se analizan las conclusiones derivadas de los resultados presentados en el tercer capítulo, se describe la implementación de los resultados y cómo contribuiráa la empresa ICEP Minerales SAC.

En el capítulo V, se ofrece a la empresa las recomendaciones a fin de decidir la opción que se ajusta más a sus necesidades además de ser fuente para futuras investigaciones.

Capitulo II: Información del lugar donde se llevó a cabo la actividad

2.1. ICEP MINERALES S.A.C.

El objetivo de la empresa ICEP MINERALES S.A.C es ser la empresa de ingeniería, consultoría y ejecución de proyectos más confiable en la industria minera a nivel nacional.

2.2.- Periodo de duración de la actividad

Para este trabajo de investigación se tomó en cuenta la información del año 2020 al 2022, esta data sirvió para la construcción del modelo de simulación.

2.3.- Misión de la empresa

El objetivo de la empresa ICEP S.A.C es ser la empresa de ingeniería, consultoría y ejecución de proyectos más confiable en la industria minera a nivel nacional.

2.4. Datos de la empresa

- Razón Social: Ingeniería, Consultoría y ejecución de Proyectos minerales Sociedad Anónima Cerrada - ICEP minerales
- Nombre Comercial: ICEP MINERALES S.A.C
- Dirección Legal: Jr. los Diamantes Mz. K Lote. 4
- Cód. postal: 15109
- Email del encargado: blancaestelaguadalupehuaman@gmail.com
- Puesto que ocupa el encargado del área: Gerente general

Capitulo III: Descripción de la actividad

El área de consultoría de la empresa ICEP MINERALES SAC cuenta con un centro de llamadas que se encarga de atender a los clientes que requieran una consultoría, para ello cuenta con servidores o agentes telefónicos encargados de realizar las preguntas, filtros de los datos básicos del cliente que tiene como fin agendar una cita con el consultor.

La atención a los clientes sigue la regla de atención FIFO, quiere decir que el primer cliente en llegar será el primero en ser atendido.

3.1. Justificación

3.1.1. Fundamentación teórica

Esta investigación se realizó con el fin de poder aplicar la simulación de sistemas como herramienta para representar el proceso de atención telefónica del área de atención al cliente y así analizar el comportamiento de la demanda de llamadas en las distintas franjas horarias las cuales son intervalos de tiempo que comparten una determinada característica. Con los resultados obtenidos se planteó una propuesta que beneficie y cumpla con los requerimientos de la empresa ICEP MINERALES SAC.

3.1.2. Fundamentación práctica

Esta investigación se realiza debido a que existe la necesidad de reducir tiempos promedio de espera en el área de atención de llamadas de la empresa ICEP Minerales SAC mediante el uso de simulación para la mejora en el nivel de atención.

3.1.3. Fundamentación metodológica

Para lograr los objetivos de la presente investigación se usaron diferentes herramientas, para la extracción y tratamiento de la información se hizo uso del Big Query con la base de datos de la empresa, para el posterior análisis de la información se utilizó software estadístico y Excel, adicionalmente para conocer la

distribución de las distintas franjas horarias se usó la herramienta input analyzer del software Arena, en este software también se desarrollaron los experimentos de simulación con la finalidad de comparar escenarios y elegir el más adecuado que cumpla el objetivo de la presente investigación.

3.2. Objetivos

3.2.1.-Objetivo principal

Aminorar el tiempo promedio de espera a menos de 20 segundos, para la atención en el centro de llamadas de la empresa ICEP MINERALES SAC, utilizando la simulación de sistemas.

3.2.2. Objetivos específicos

- Conocer la distribución que sigue el arribo de llamadas por franja horaria.
- Construir un modelo de simulación del sistema de espera representando el proceso de atención de llamadas.
- Plantear diferentes escenarios para las distintas franjas horarias variando la cantidad de servidores.
- Seleccionar el escenario más conveniente para la empresa, resultante del proceso de simulación.

3.3.-Situación problemática

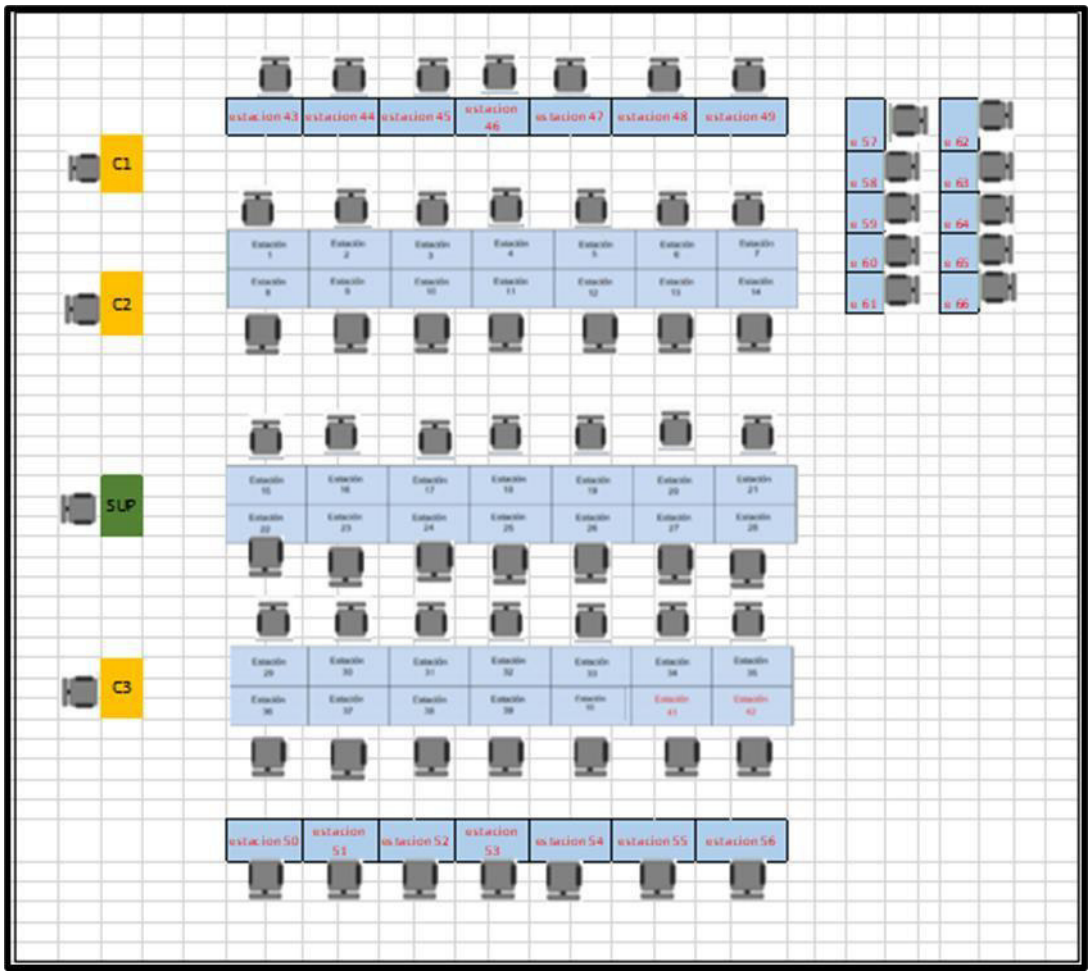
La empresa ICEP MINERALES SAC cuenta con 66 servidores o agentes telefónicos para la atención de llamadas, sin embargo, existen franjas horarias de mayor demanda en donde los servidores no logran atender satisfactoriamente la demanda lo que genera que el cliente deba esperar un tiempo excesivo y con frecuencia abandone la llamada, además también existen franjas horarias en donde la demanda es casi nula generando tiempo de ocio para los servidores lo que genera

insatisfacción en la empresa porque significa asumir costos por tiempos en los que el trabajador no desarrolla ninguna labor.

El centro de llamadas como se ve en la figura 1, perteneciente al área de consultoría de la empresa, tiene como indicador de calidad que el tiempo de espera promedio sea menor que 20 segundos, para ello, desea conocer el número de servidores necesarios a considerar en todas en las franjas horarias, de tal manera que se atiendan todas las llamadas cumpliendo esta condición.

Figura 1

Centro de llamadas de atencion al cliente



Nota. Aquí podemos la distribución que tiene los servidores en el área.

3.3.1. Formulación del problema

Las siguientes preguntas de investigación vienen dadas luego del análisis de la problemática:

3.3.2. Pregunta general

¿Cómo reducir el tiempo de espera promedio para la atención en el centro de llamadas de la empresa ICEP MINERALES SAC utilizando la simulación de sistemas?

3.3.3. Preguntas específicas

- ¿Cuál es el comportamiento o distribución probabilística de la demanda de llamadas por franja horaria?
- ¿Cómo construir un modelo de simulación de líneas de espera representando el proceso de atención de llamadas?
- ¿Cómo plantear diferentes escenarios para las distintas franjas horarias variando la cantidad de servidores?
- ¿Cómo seleccionar el escenario más conveniente para la empresa, obtenido del proceso de simulación?

3.4.-Descripción del proceso del sistema

El área de consultoría de la empresa ICEP MINERALES SAC cuenta con un centro de llamadas el cual se encarga de recibir la información de los clientes que desean una consultoría.

Todas las llamadas que ingresan al sistema son recibidas por un contestador automático llamado IVR (Interactive Voice Response) el cual solicita los datos principales del cliente.

Si el IVR detecta que no hay servidores desocupados mantiene la llamada en espera, entonces dependerá del cliente si espera por atención o decide abandonar la llamada.

Posteriormente, si existen servidores desocupados el IVR deriva la llamada del primer cliente de la cola a la atención de algún operador telefónico disponible por estar desocupado; se considera que todos los servidores atienden cualquier tipo de llamada, el servidor al cual se asigna la llamada es el que presenta mayor tiempo desocupado.

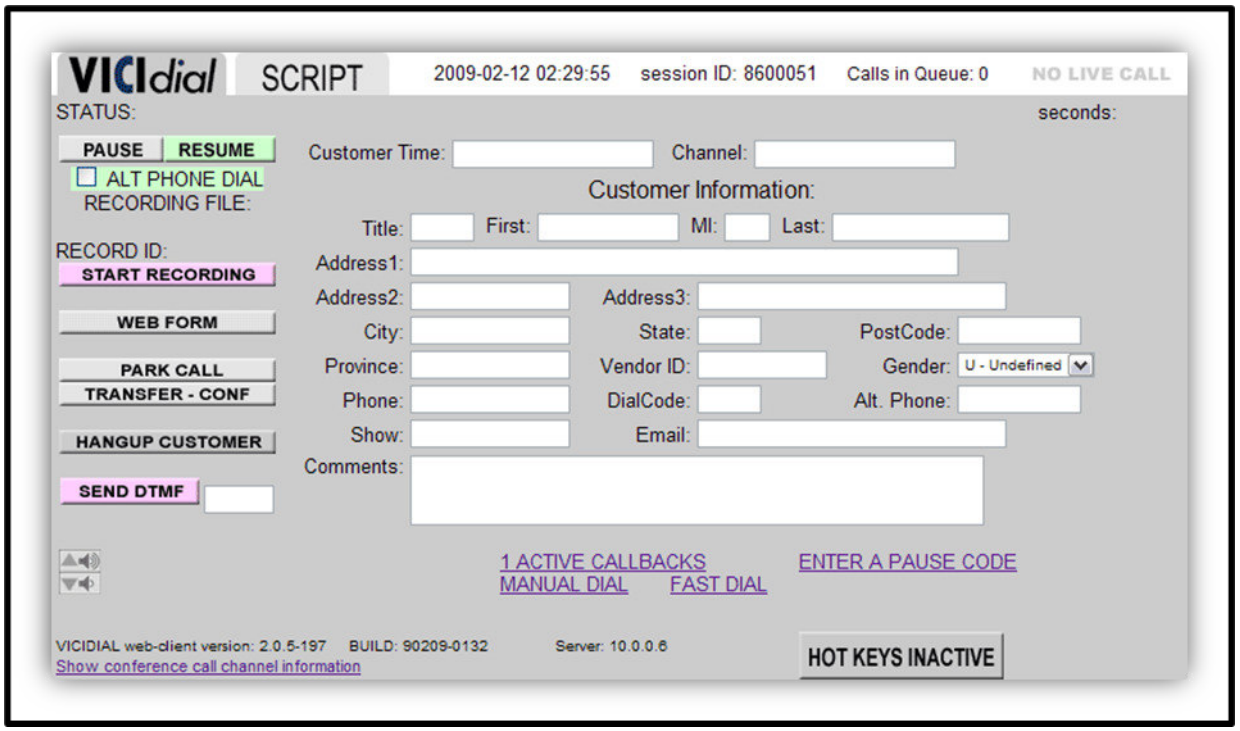
Una vez que el operador telefónico este desocupado toma la llamada; para el proceso de la atención del cliente se hace uso de 2 interfaces.

La primera incluye aplicativos de consultas para acceder a la base de datos de clientes y realizar el filtro de identidad que garantice la identificación positiva del cliente que está en la línea.

La segunda interfaz es un el aplicativo interno, en donde cada operador se debe loguear para indicar que está activo y la que permite comunicación con los clientes a su vez permite el monitoreo por parte de los coordinadores del área (ver figura 2).

Figura 2

Interfaz de logueo



Nota. En esta figura se muestra el aplicativo de logueo para el servidor y el registro de tipificación de cada llamada

El sistema está compuesto por 76 estaciones de trabajo de las cuales 66 son usados por los operadores para la atención del cliente,3 para los coordinadores,1 parael supervisor de área; el resto de las estaciones permanecen inactivas.

Además, se cuentan con 66 operadores telefónicos asignados a diferentes turnos de 8 horas, cada operador cuenta con 1 día de descanso asignado por semana.

Los horarios se asignan de acuerdo con la demanda registrada el mes anterior, estos horarios tienen una duración de 2 meses; sin embargo, los horarios de fin de semana y descanso se programan en la misma semana de acuerdo con los requerimientos registrados en la semana anterior.

3.5.- 3.5.-Diseño metodológico.

La presente es una investigación de tipo proyectiva según (Rietveld, Alamo, & Natera, 2006) ya que a partir del estudio de las necesidades del momento se construye y propone una solución al problema de tipo practicó a dicha necesidad.

3.5.1.-Recolección de información

Para la recolección de la información se realizaron las siguientes actividades:

- Se entrevisto al jefe de personal con el fin de conocer la cantidad actual de servidores y sus respectivos horarios.
- Se extrajo de la base de datos de la empresa el flujo de llamadas por mes, día y hora, para analizar la distribución de las llamadas se realizó la prueba de bondad de ajuste, además se realizaron graficas para identificar las horas valle y las horas pico.
- También se extrajo de la base de datos el tiempo promedio de espera del cliente y el tiempo de atención promedio.
- Se construyo y valido el modelo de simulación en el software Arena por cada franja horaria.
- Se realizaron las corridas por cada franja horaria escogiendo el mejor escenario que reduzca el tiempo promedio de espera.

3.6.-Variables Endógena:

Una variable endógena es también llamada variable dependiente debido a que esta correlacionada con otros elementos o variables del sistema, para el presente trabajo de investigación el tiempo promedio que el cliente permanece en sistema, es determinado por el tiempo promedio de espera en la cola más el tiempo promedio de atención.

3.6.1.- Tiempo de espera medio

Es el tiempo promedio mensual que el cliente permanece en la cola a espera de ser atendido, como máximo un cliente deber ser atendido en menos de 20 segundos de lo contrario afectaría el nivel de servicio.

Luego la Ley de Little (Operaciones, 2022) determina que el resultado de multiplicar tiempo medio de espera por el promedio de clientes que arriban al sistema es promedio total de clientes en el sistema.

$$\boldsymbol{L} = \lambda.\boldsymbol{W}$$

L: # promedio de clientes en un sistema

W: Tiempo promedio de espera en un sistema
λ: # promedio de clientes que arriban al sistema por cada unidad de tiempo

La fórmula se puede aplicar también para subsitemas:

$$L_q = \lambda.\boldsymbol{W_q}$$

3.6.2.-Tiempo promedio de servicio o tiempo medio de operación (TMO):

El TMO (tiempo medio de operación) es promedio de la duración de la atención del cliente por el servidor entre el número total de llamadas atendidas por el mismo servidor.

3.7.-Medidas de Rendimiento del centro de llamadas (KPIs):

- **Tiempo de espera en la cola:** tiempo promedio en que el cliente está en la cola a la espera de ser atendido
- **Utilización:** Es el tiempo en el que el servidor está atendiendo llamadas o disponible para hacerlo (tiempo productivo) entre el tiempo total de conexión.
    - ✓ **Tiempo de conexión**: es el tiempo productivo más los tiempos auxiliares o tiempos fuera del teléfono (horas de refrigerio, pausas, horas de capacitación)

% Utilización = Tiempo Productivo / (Tiempo Productivo + Tiempos Auxiliares)

En la práctica el porcentaje de utilización indicará el tiempo en que el servidor está atendiendo o disponible para hacerlo esto permitirá conocer que tan productivos resultan ser los servidores y así planificar mejor la fuerza de trabajo para atender la demanda del centro de llamadas. (Uriarte, 2020)

- **Ocupación:** Es el tiempo operativo entre el tiempo productivo
- **Tiempo Operativo:** es el tiempo en que el servidor está atendiendo la llamada.

% Ocupación = Tiempo Operativo / (Tiempo Operativo + Tiempo Disponible)

- **Llamadas abandonadas:** Es el número de llamadas que no llegaron a ser atendidas debido a que estuvieron un tiempo prolongado en la cola.
- **Nivel de Servicio**: es el porcentaje de clientes que fueron atendidos antes de los 20 segundos de espera entre el número total de llamadas atendidas.

3.8.- Parámetros en la simulación:

Es una variable que se fija durante el periodo de estudio.

Numero de servidores por franja horaria: es la cantidad de operadores asignados por cada franja horaria.

3.9.- Simulación de sistemas

Según (Vega, 2016) con el fin de tomar una mejor decisión se usa la simulación para representar procesos de un sistema real y estudiar el comportamiento de este.

3.10.-Software Arena

Según **(Automation, 2010)** es un software de simulación que permite representar un proceso o sistema mediante un diagrama de flujo.
Una de las ventajas de este software es generar distintos escenarios que permitan encontrar la solución a un problema para el cual se desconocen las causas, o permite encontrar el mejor escenario sin interrumpir el sistema actual, utilizando los mismos recursos, es decir, disminuye la probabilidad de una nueva inversión. **(Clarcat, 2022)**

3.10.1.-Módulos

Para representar escenarios en Arena se usan elementos básicos llamados “módulos”. Para la realización del modelo de Arena de este trabajo de investigación se hará uso de dos tipos de módulos los cuales son mód. de diagrama de flujo y de datos. Create, Dispose, Process, Decide, Batch, Separate, Assign y Record son modulos de diagrama de flujo.

Los módulos de datos usados son Entity, Queue, Resource, Variable, Schedule y Set estos módulos se usan para definir las características de las entidades, recursos, etc. (Kelton, Sadowski, & Sturrock, 2008)

Tabla 1

Principales módulos del software Arena

Módulo	Definición
 Create	Es el nudo “nacimiento” para la llegada de las entidades de nuestro modelo.
 Record	Este módulo se utiliza para la recolección estadística en el reporte de resultados del modelo.
 Assign	Sirve para asignar a las variables valores
 Decide	Cuando tenemos procesos en el que tengamos que tomar decisiones se usa “Decide”
 Process	“Process” ejecuta las actividades que se realizan en el sistema.
 Dispose	Este módulo se usa para representar el fin o término del proceso.
 Delay	Este módulo se encarga de retrasar una entidad un determinado tiempo especificado.

Nota: Esta tabla nos muestra el concepto de cada uno de los principales módulos que fueron utilizados para diseñar el modelo con en el software Arena.

3.11.- Análisis de datos utilizando herramientas TI

Input Analyzer: el software Arena cuenta con un analizador de datos denominado input analyzer que realiza las pruebas de chi cuadrado y Kolmogórov-Smirnov de manera automática brindando así información referente a la distribución de probabilidad que más se ajusta a los datos. (Vega, 2016)

Big Query: es un almacén de datos empresarial de estadísticas, administrado por Google Cloud que permite elaborar estadísticas en grandes cantidades de datos en tiempo real. (Cloud, 2022)

3.12.-Procesamiento de datos

3.12.1 Datos de entrada

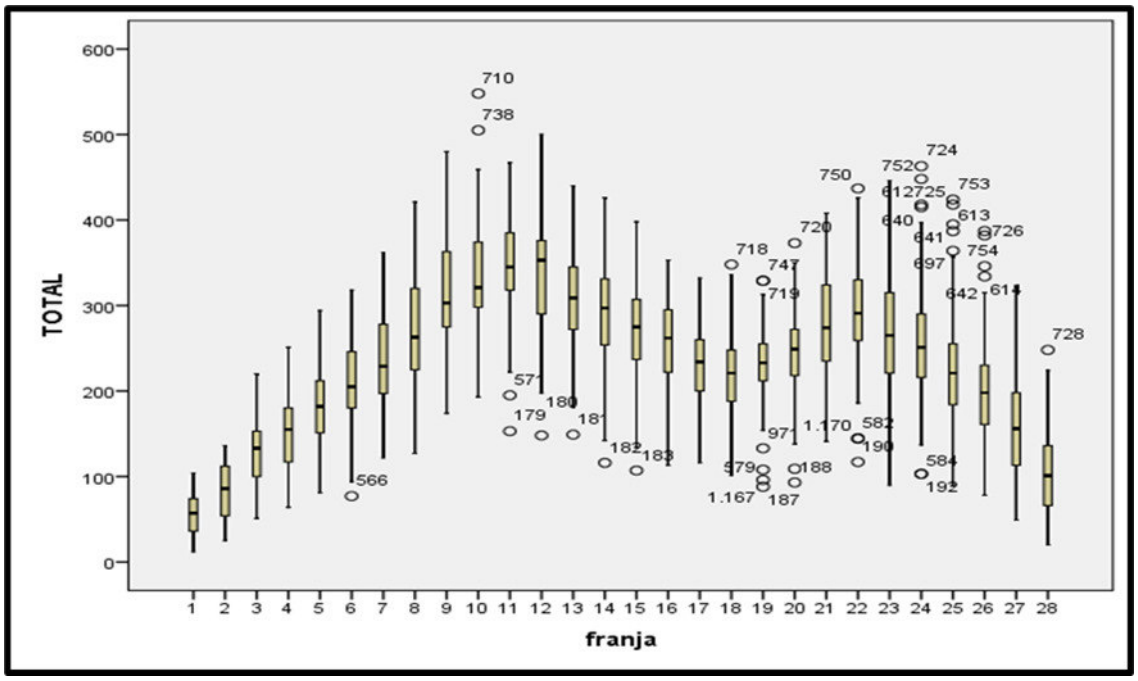
Para obtener un modelo de simulación que nos permita representar de la mejor manera el sistema real se analizaron los datos recolectados correspondientes al periodo 2020 al 2022, estos datos se obtuvieron de la base de datos de la empresa y entrevistas a los jefes de área:

3.12.2 Arribo de llamadas por intervalo de media hora

Como se observa en la gráfica existen dos horarios en donde la demanda crece debido a ello es que se dividirá las franjas no en 28 intervalos sino en 4.

Figura 3

Diagrama de cajas



Nota: En la siguiente figura se observa un diagrama de cajas, donde se ha representado la totalidad del tiempo trabajado por día; se puede visualizar picos horarios, los cuales fueron separados para dar origen a las franjas horarias.

Gracias a la Figura 3 las franjas quedaron agrupadas de la siguiente manera:

Tabla 2

Distribución de franjas horarias

Franja horaria	Inicio	Fin
1era franja horaria	8:00 a.m.	12:00 p.m.
2da franja horaria	12:00 pm	3:00 p.m.
3era franja horaria	3:00 p.m.	7:00 p.m.
4ta franja horaria	7:00 p.m.	10:00 p.m.

Nota: En esta tabla se tiene la distribución de horas según todo el día de trabajo en franjas horarias.

3.12.3 Tiempo de espera promedio por franja horaria por mes

En el siguiente cuadro se observa que la franja horaria con mayor tiempo de espera es la franja 4 con 45 seg.

Tabla 3

Tiempos promedios de espera

Mes	Franja 1	Franja 2	Franja 3	Franja 4
Ene	39,83	34,37	32,84	44,49
Feb	38,76	36,3	38,34	51,41
Mar	39,84	36,17	40,13	43,63
Abr	39,08	37,3	42,83	47,09
May	39,58	31,37	31,35	39,48
Jun	43,63	28,53	31,43	39,83
Jul	38,84	34,64	37,22	46,08
Ago	40,6	36,51	40,18	49,05
Sep	39,44	36,42	38,97	44,79
Oct	42,62	39,63	42,29	46,23
Nov	39,11	34,41	38,5	43,16
Dic	37,54	30,56	34,96	38,65
Promedio	40	35	38	45

Nota: Aquí se tienen todos los tiempos promedios obtenidos en el periodo de estudio.

a) **Cantidad de servidores por franja horaria por mes:**

En el siguiente cuadro se observa que la franja horaria que cuenta con más servidores telefónicos es la franja 2 de 11 a las 15 pm

Tabla 4

Servidores promedio por franja horaria

Mes	Franja 1	Franja 2	Franja 3	Franja 4
Ene	24	34	29	34
Feb	46	54	46	50
Mar	38	52	50	54
Abr	46	50	43	45
May	46	53	42	56
Jun	34	39	42	43
Jul	22	27	25	38
Ago	33	40	45	40
Sep	25	28	29	28
Oct	27	23	16	25
Nov	17	22	18	20
Dic	18	25	30	25
Promedio	32	38	35	38

Notas: Aquí se tienen todos los servidores promedios obtenidos en el periodo de estudio.

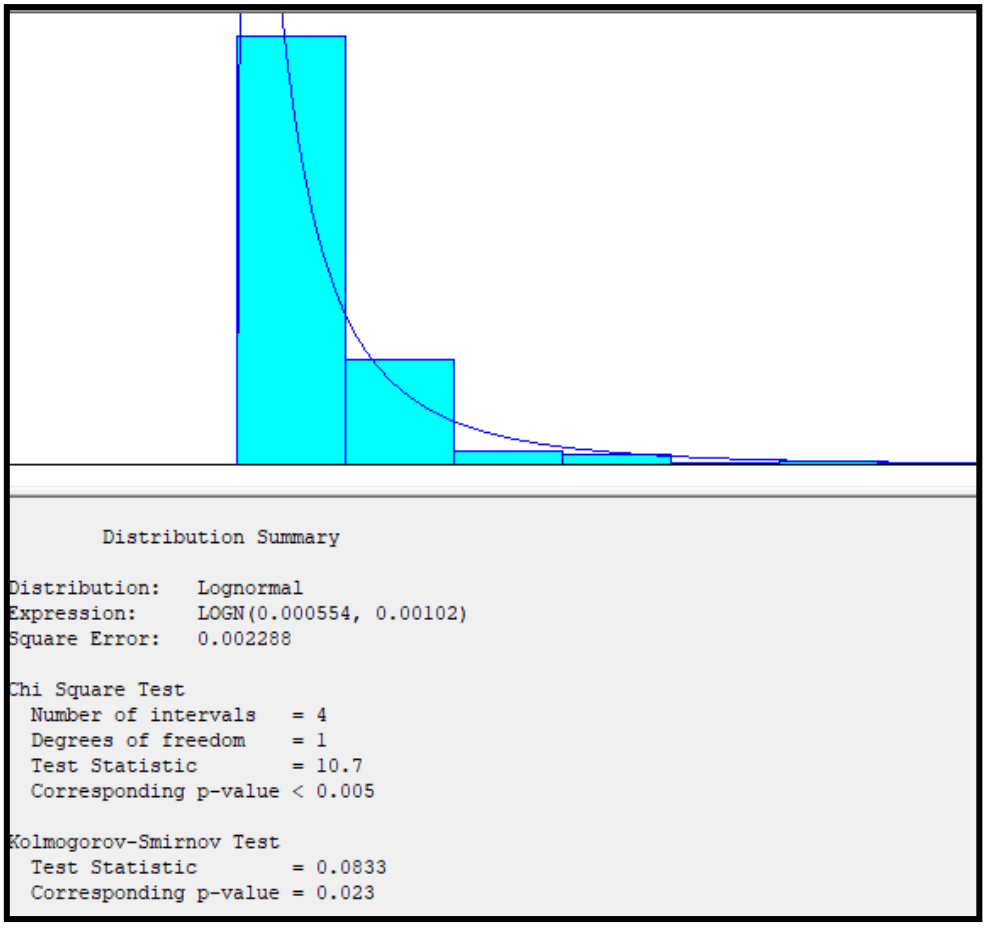
3.13. Verificación del tipo de distribución probabilística usando Input Analyzer

Para el análisis de los datos extraídos se uso la herramienta input analyzer, logrando como resultado los errores cuadráticos de cada una de las distribuciones probabilísticas, los cuales se organizan de forma descendente automáticamente con el fin de elegir la distribución que tenga menor error.

Con los datos ingresados según la franja horaria se obtuvo los arribos y tiempos promedios de atención, con las pruebas Chi cuadrado y Kolmogorov smirnov, las cuales utiliza la herramienta Input Analyzer en la búsqueda de la distribución probabilística como se observa en la figura 4.

Figura 4

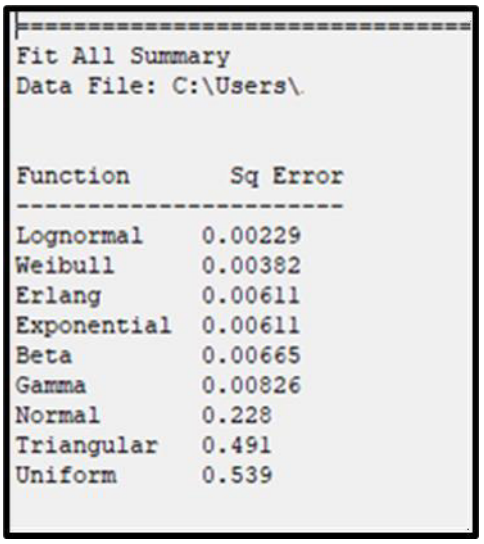
Resultado de distribución por Input Analyzer.



Nota: Pruebas Chi cuadrado y Kolmogorov Smirnov obtenidas por Input Analyzer

Figura 5

Errores cuadráticos por tipo de distribución estadística



```
Fit All Summary
Data File: C:\Users\


Function       Sq Error
----------------------
Lognormal      0.00229
Weibull        0.00382
Erlang         0.00611
Exponential    0.00611
Beta           0.00665
Gamma          0.00826
Normal         0.228
Triangular     0.491
Uniform        0.539
```

Nota. Se realizo la elección de la distribución Lognormal sobre las otras distribuciones según el tipo de error cuadrático.

Tabla 5

Distribuciones estadísticas para tiempos entre arribos por franja horaria

Franja horaria	Distribución estadística
Primera franja horaria	LOGN(0.000554, 0.00102)
Segunda franja horaria	GAMM(0.000376, 1.16)
Tercera franja horaria	BETA(1.04, 33.9263)
Cuarta franja horaria	WEIB(0.0006, 1.07)

Nota. Se obtuvieron estas distribuciones estadísticas para las cuatro franjas horarias; estas distribuciones fueron ingresadas al modelo y comprobarán su veracidad.

Con la obtención de las destrucciones para los arribos se puede simplificar la obtención de la distribución de probabilidad del tiempo de servicio.

Tabla 6

Distribución estadística para tiempo promedio de servicio.

Intervalo de tiempo	Distribución estadística
Tiempo promedio de servicio	NORM(494, 208)

Nota. Utilizando la herramienta Input Analyzer del software Arena se obtuvo esta distribución.

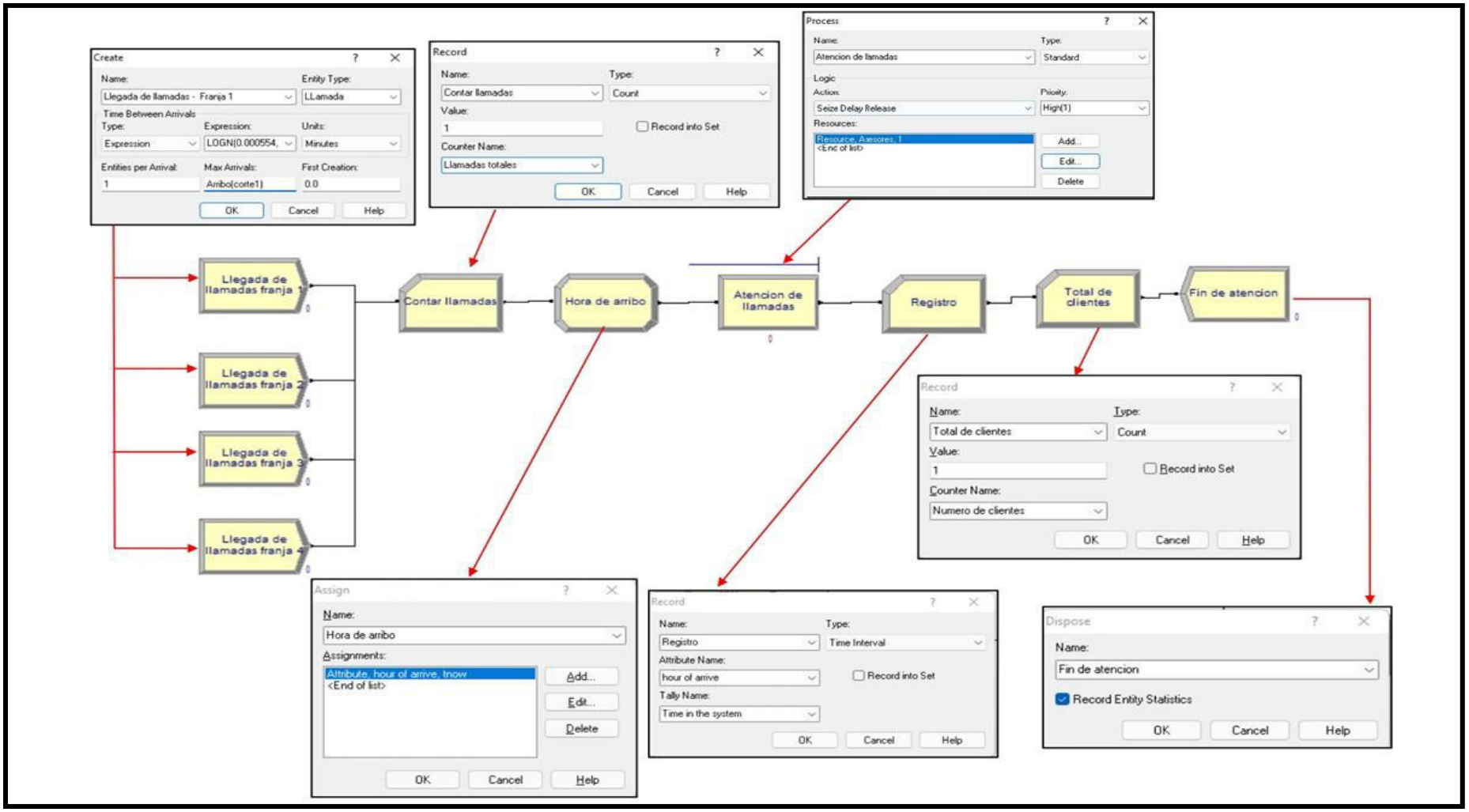
3.14.- Modelo de Simulación

En los capítulos anteriores se describió el proceso de atención telefónica del área de consultoría de la empresa ICEP Minerales SAC, con esta información se construyó el modelo de simulación.

Para la construcción del modelo se usaron diferentes módulos tales como create, record, assign, process, dispose.

Figura 6

Modelo del sistema en Arena



Nota: Se obtuvo el modelo representado en el software Arena.

3.15.-Replicación o número de réplicas en el modelo de simulación

El número se calculó con la formula dada por (Torres Vega, 2016), con el finde poder representar la realidad de la empresa ICEP Minerales SAC.

Para hallar el número de replicas:

$$\mathbf{n < 30} \qquad N = \left[\frac{t_{(n-1,1-\alpha/2)} * S_{(n)}}{e}\right]^2$$

Donde:

N: # de réplicas para que el modelo obtenga una confiabilidad aceptable.

n: Muestra preliminar para hallar N.

S_n: Valor de la desviación estándar, en base a n.

ε: Error aceptable para el modelo

$t_{(n-1,1-\alpha/2)}$: Valor encontrado en la tabla de distribución t Student con n-1 grados de libertad, con a α como la probabilidad del error permitido.

Para el modelo propuesto realizado en el software Arena se consideró n=20 réplicas. Estos resultados se observan en la Tabla 7.

Tabla 7

Tiempo medio de servicio por réplica

Replica	Tiempo promedio de servicio
1	8.16
2	8.2
3	8.15
4	8.09
5	8.09
6	8.08
7	8.35
8	8.36
9	8.2
10	8.24
11	8.27
12	8.07
13	8.07
14	8.37
15	8.1
16	8.38
17	8.23
18	8.46
19	8.17
20	8.34

Nota: En esta tabla se obtienen los resultados de los tiempos promedios de servicio para 20 réplicas en nuestro modelo.

Tabla 8

Resultado de datos estadísticos para calcular el número de replicas.

Estadística descriptiva	Resultado
n (muestras preliminares)	20
Desviación estándar	0.122

Se utiliza la fórmula presentada al inicio para dar con el tamaño N de réplicas.

Donde:

Para el error.

Tomamos ε =0.023 horas como aceptable, para minimizar el error.

Para el nivel de confianza.

1-a=95%

Nivel de significancia= 5%

Como el tamaño de la muestra es 15 se tomó la tabla de distribución T para aplicarla a la formula.

$t_{(n-1,1-\frac{a}{2})}=t_{(19,0.975)}$=2.093

Reemplazando, obtenemos:

$N = [\frac{0.122*2.093}{0.023}]^2$ =121 replicas

3.16 Cálculo del número del período de calentamiento

Existe un cierto período en el que se produce inestabilidad, lo que puede dar lugar a resultados irregulares en el momento de la recogida o resultados estadísticos.

Según (Ballesteros & Medina, 2003) la simulación requiere de un tiempo para lograr un estado estable a su vez este tiempo está en relación con el tiempo y cantidad de las actividades que suceden en la simulación, este tiempo se llama período de calentamiento, algunos modelos consiguen un estado estable en pocas horas, sin embargo, existen modelos de simulación que requieren más tiempo para lograr dicho estado.

Para el cálculo de este periodo se tomó de igual manera el tiempo promedio de atención.

Con el objetivo de ampliar más el tiempo de observación se tomó 30 periodos cada uno formado por un día laboral tal como se ve en la tabla 9.

Tabla 9

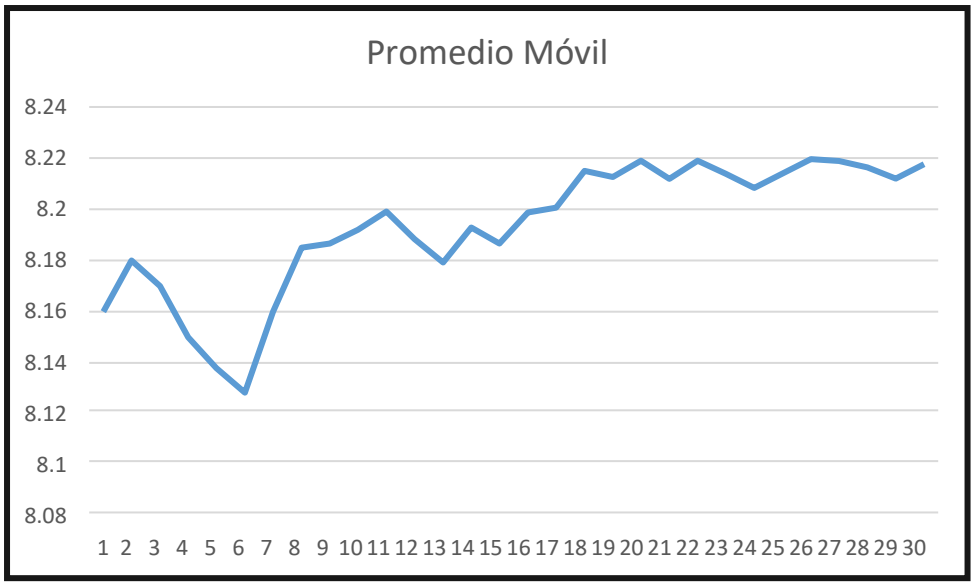
Promedio móvil por réplica

Réplica	Tiempo medio de servicio	Promedio móvil
1	8.16	8.16
2	8.2	8.18
3	8.15	8.17
4	8.09	8.15
5	8.09	8.14
6	8.08	8.13
7	8.35	8.16
8	8.36	8.19
9	8.2	8.19
10	8.24	8.19
11	8.27	8.20
12	8.07	8.19
13	8.07	8.18
14	8.37	8.19
15	8.1	8.19
16	8.38	8.20
17	8.23	8.20
18	8.46	8.22
19	8.17	8.21
20	8.34	8.22
21	8.07	8.21
22	8.37	8.22
23	8.1	8.21
24	8.08	8.21
25	8.35	8.21
26	8.36	8.22
27	8.2	8.22
28	8.15	8.22
29	8.09	8.21
30	8.38	8.22

Nota: Según (Ballesteros & Medina, 2003) mediante el análisis de los datos se consiguió el promedio móvil, posteriormente se analizó el periodo donde se estabiliza la simulación,como se ve en la figura 8.

Figura 7

Grafica de promedio móvil de tiempos de servicio



Nota: En la gráfica se muestra que para el periodo 21 se logra la tendencia a la estabilización.

3.17.-Resultados del modelo de simulación

En la siguiente tabla se compara los resultados de los diferentes escenarios resultado de las corridas del modelo de simulación.

Tabla 10

Resultados de cada escenario

Escenarios							
	Escenario 1 (actual)	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7
Llamadas ingresadas al sistema	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440
Llamadas promedio ingresadas por hora	101	101	101	101	101	101	101
Llamadas no atendidas	40	35	30	25	18	11	3
Llamadas atendidas en el sistema	1400	1405	1410	1415	1422	1429	1437
Tiempos							
Tiempo promedio de atención	9 min	9 min	9 min	9 min	9 min	9 min	9 min
Tiempo promedio de espera total	40 seg	37 seg	33 seg	29 seg	24seg	20 seg	18 seg
Numero de servidores							
Servidores franja 1	32	32	32	33	33	33	34
Servidores franja 2	38	38	38	38	39	39	39
Servidores franja 3	35	35	35	35	35	36	36
Servidores franja 4	38	39	40	40	40	40	40
Total de servidores	143	144	145	146	147	148	149

Nota: En la tabla se compara la situación actual con los distintos escenarios variando en 1 servidor.

3.18.- Interpretación de los resultados

Teniendo como base el escenario actual se fue añadiendo 1 servidor por franja horaria, considerando que la franja con mayor tiempo de espera es la franja 4 se comenzó añadiendo un servidor en esa franja con el se obtuvo un tiempo de espera de 37 segundos, para el escenario 4 se añadió también un servidor en la franja 1 y 2 servidores más en la franja 4 con respecto a la situación actual, con este escenario se redujo el tiempo de espera a 29 segundos, sin embargo nuestro objetivo es reducirlo a menos de 20 segundos, para el escenario 7 se consiguió reducir el tiempo de espera a 18 segundos aumenta en 2 en la franja 1,1 en la franja 2 y 3 y 2 en la franja 4 en resumen se debe aumenta 6 servidores con respecto a la situación actual.

3.19.- Análisis económico sobre resultados obtenidos

En la siguiente tabla se considera un gasto por servidor de S/.1200 considerando el objetivo de la empresa y del presente trabajo se observa que en el escenario 7 se logra aminorar el tiempo de espera en menos de 20 segundos con un gasto de S/. 7200más con respecto a la situación actual.

3.19.1.-Costo de pérdida de oportunidad:

Para elegir el escenario que mejor convenga a la empresa ICEP Minerales SAC. se debe analizar también el costo por cada cliente que se deja de atender que es el dinero que la empresa deja de ganar además del dinero que la empresa invierte en un servidor.

Fórmula:

$$CT = Costo\ por\ servidor + costo\ de\ oportunidad$$

$$CT = C_s * \#servidores + C_w * \#clientes\ insatisfechos$$

Donde:

$$C_w = costo\ por\ cada\ cliente\ insatisfecho(cada\ cliente\ que\ se\ deja\ de\ atender)$$

$$C_s = costo\ por\ mantener\ un\ servidor\ en\ su\ puesto\ de\ trabajo$$

En la siguiente tabla se define cliente insatisfecho como los clientes que se dejaron de atender para cada escenario se estima que por cada cliente que se deja de atender se pierde como mínimo S/. 10 000.

Analizando la tabla 11 para el escenario 7 que es el que reduce el tiempo de espera promedio a menos de 20 seg, con 6 servidores más la empresa estaría invirtiendo S/ 7,200.00 más de lo que invierte actualmente, pero el costo de perdida de oportunidad disminuye en S/.362,800.00 es decir sería más lo que ganaría que lo que invierte por aumentar 6 servidores en el área de atención de llamadas.

Tabla 11

Costo de pérdida de oportunidad por escenario

	CT	**C_s=S/.1,200** Servidor	**C_w=S/.10,000** Clientes insatisfechos	Inversión de la empresa en servidores
Escenario 1(actual)	S/571,600.00	143	40	S/ 171,600.00
Escenario 2	S/522,800.00	144	35	S/ 172,800.00
Escenario 3	S/474,000.00	145	30	S/ 174,000.00
Escenario 4	S/425,200.00	146	25	S/ 175,200.00
Escenario 5	S/356,400.00	147	18	S/ 176,400.00
Escenario 6	S/287,600.00	148	11	S/ 177,600.00
Escenario 7	S/208,800.00	149	3	S/ 178,800.00

Tabla 12

Análisis económico por escenarios

Franja	Servidores actuales (Escenario 1)	Servidores propuestos					
		Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7
Franja 1	32	32	32	33	33	33	34
Franja 2	38	38	38	38	39	39	39
Franja 3	35	35	35	35	35	36	36
Franja 4	38	39	40	40	40	40	40
Total de servidores	143	144	145	146	147	148	149
Servidores contratados	-	1	2	3	4	5	6
Pago por servidor	S/ 1.000,00	S/ 1.200,00	S/ 2.400,00	S/ 3.600,00	S/ 4.800,00	S/ 6.000,00	S/ 7.200,00
Gasto total por servidor	S/ 171.600,00	S/ 172.800,00	S/ 174.000,00	S/ 175.200,00	S/ 176.400,00	S/ 177.600,00	S/ 178.800,00
Clientes insatisfechos	40	35	30	25	18	11	3
Tiempo promedio de espera	40 seg	37 seg	33 seg	29 seg	24seg	20 seg	18seg

Capitulo IV: Conclusiones

1. Con la herramienta del software Arena Input Analyzer se conoció la distribución que siguen las distintas franjas horarias con esta información se construyó el modelo de simulación.
2. Se construyó el modelo de simulación que refleja el proceso de atención en el centro de llamadas de la empresa ICEP Minerales SAC.
3. Se simulo diversos escenarios de los cuales se identificó que para el escenario 7 se tiene como resultado que con el aumento de 6 servidores se logró reducir el tiempo de espera a 18 segundos siendo este el objetivo principal de la empresa y del presente trabajo, esta propuesta se refuerza con el análisis de costos de pérdida de oportunidad llegando a la conclusión que sería más lo que ganaría que lo invertiría por los 6 servidores más que contrataría ya que se podría atender más cliente y cada cliente representa una determinada cantidad de ganancia.
4. Con la información obtenida de la extracción de base de datos de la empresa se identificó las franjas de mayor demanda y las que durante el período de estudio presentaban mayor tiempo promedio de espera. Partiendo de la situación actual se simuló diversos escenarios por cada franja horaria variando el número de servidores dando prioridad en las franjas donde el tiempo promedio de espera es mayor.

Capitulo V: Recomendaciones

1. Como recomendación a la empresa ICEP, es poder distribuir a sus servidores en cuatro franjas horarias, que están distribuidas en las 14 horas que el sistema trabaja por día
2. Se recomienda a ICEP contratar servidores y colocarlos en las franjas horarias con mayores tiempos de espera, comenzando desde la que tiene el mayor (Franja 4) tiempo de espero hasta el menor (Franja 2)
3. Se recomienda a ICEP utilizar el modelo propuesto, para conocer la variación del servicio, para poder realizar los cambios en la cantidad servidores, conforme a la demanda o requerimientos solicitados.
4. Para futuras investigaciones, se recomienda el cálculo del periodo de calentamiento y el cálculo del número de replicas, ya que con estos datos se puede obtener resultados más precisos en la simulación y análisis posterior.

Bibliografía

Automation, R. (2010). *Arena Basic Edition User's Guide.* Estados Unidos.

Ballesteros, P., & Medina, P. (2003). DETERMINACIÓN DEL PERIODO DE CALENTAMIENTO EN SIMULACIONES DE ESTADO ESTABLE. *Scientia Et YTechnica*, https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7381/4401.

Clarcat. (20 de Mayo de 2022). *Clarcat*. Obtenido de Clarcat: https://www.clarcat.com/arena/

Cloud, G. (20 de Mayo de 2022). *Google Cloud*. Obtenido de Google Cloud: https://cloud.google.com/bigquery/docs/introduction

Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Sturrock, D. T. (2008). *Simulación con software Arena.* México,D.F: Mc Graw-Hill/Interamericana Editores.

Operaciones, G. d. (09 de mayo de 2022). *Gestión de Operaciones*. Obtenido de Gestión de Operaciones: https://www.gestiondeoperaciones.net/lineas-de-espera/que-es-la-ley-de-little-y-su-aplicacion-en-el-analisis-de-lineas-de-espera/

Rietveld, F., Alamo, G., & Natera, L. (2006). *Hacia una metodología para la investigación tecnológica.* Maracaibo: Astro Data.

Torres Vega, P. J. (2016). *Simulación de sistemas con el software Arena.* Lima: Fondo Editorial de la Universidad de Lima.

Uriarte, M. (2020). *KPIs de ocupación y utilización en call centers: qué son y cómo medirlos*. Obtenido de Omnia: https://omniawfm.com/blog/ocupacion-y-utilizacion-en-call-centers.php

Vega, P. J. (2016). *Simulación de sistemas con el software Arena.* Lima: Universidad de Lima.