

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**OPTIMIZACIÓN DE LA ASIGNACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL
DESPACHO Y CONTROL DE MENSAJERÍA INTERNA Y
EXTERNA DE UNA EMPRESA PRODUCTORA Y
DISTRIBUIDORA DE PRODUCTOS DE CONSUMO MASIVO**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial, que presentan las
bachilleres:

Maria Rocío Arenas Quispe
Lizeth Fiorela Reynoso Fernández

ASESOR: Walter Silva Sotillo

Lima, octubre del 2013

RESUMEN

El presente estudio analiza los sistemas de distribución de documentos de las áreas de mensajería interna y externa de una empresa productora y distribuidora de productos de consumo masivo con el objetivo de proponer mejoras que optimicen la utilización de los recursos de cada área respectivamente, lo cual permitirá la generación de ahorros para la empresa.

En cuanto a la mensajería interna, el análisis se enfocó en la cantidad de recursos utilizados por dicha área. Se recopiló información necesaria para llevar a cabo la simulación de la situación actual y sobre ello se propuso un nuevo modelo de funcionamiento, con lo cual se lograría reducir la cantidad de mensajeros manteniendo la misma cantidad de documentación entregada diariamente entre las distintas áreas de la empresa. La reducción que se lograría con esta propuesta sería del 50% del gasto actual de mensajería interna.

En la mensajería externa se propusieron cuatro rutas de transporte, las cuales fueron diseñadas mediante la aplicación del algoritmo de Clarke & Wright o método del ahorro, con lo cual se lograría una reducción del 29 % de la distancia total recorrida actualmente.

Finalmente, considerando las propuestas de mejora planteadas tanto para la mensajería interna y externa, se cuantificó el ahorro anual que se podría generar para la empresa, el cual sería S/ 49,445.00 nuevos soles.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme alcanzar esta meta, y a mis padres y hermanos por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de éxito en la vida.
María Rocío Arenas Quispe

A mis padres, por ser el motor de mi camino y por haber sido el sendero ejemplar en cada paso dado a lo largo de mi vida. Su esfuerzo y dedicación han sido la fuente para mi crecimiento y mis logros.
A mi hermano, por su amor y apoyo incondicional que me ha impulsado a ser un modelo de enseñanza para su vida.
Lizeth Fiorela Reynoso Fernández

AGRADECIMIENTOS

A nuestro divino creador, por ser fuente de motivación para no desmayar en este camino que hoy vemos realizado.

A nuestros padres, por su amor y dedicación para la culminación de nuestra carrera profesional.

A nuestro asesor, el Ingeniero Walter Silva Sotillo por su valiosa guía y asesoramiento en la realización de la tesis.

Al Ingeniero Eduardo Carbajal López por su paciencia e importante colaboración para la culminación de nuestra tesis.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 Probabilidad y Estadística.....	3
1.1.1 Principio de Pareto.....	3
1.1.2 Intervalo de Confianza.....	4
1.1.2.1 Intervalo de confianza para la media.....	5
1.2 Investigación de operaciones.....	6
1.2.1 Simulación de sistemas.....	6
1.2.1.1 Simulación de sistemas en Arena.....	7
1.2.2 Teoría de Redes.....	8
1.2.3 Problemas de ruteo de vehículos (VRP).....	8
1.2.4 Heurísticas para el VRP.....	9
1.2.4.1 El Algoritmo de <i>Gillet Miller</i>	9
1.2.4.2 El Algoritmo de Ahorros o <i>Clarke and Wright</i>	10
1.2.4.3 El Algoritmo de Pétalos.....	11
CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	12
2.1 Descripción de la empresa.....	12
2.1.1 Descripción del área de mensajería.....	15
2.1.1.1 Mensajería interna.....	15
2.1.1.2 Mensajería externa.....	20
2.2 Descripción de la problemática.....	21
2.2.1 Determinación de recursos disponibles.....	21

2.2.2	Análisis y determinación de los puntos más frecuentes para mensajería externa	22
2.2.3	Análisis de indicadores de desempeño	24
	CAPÍTULO 3. MODELAMIENTO DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTA DE MEJORA	26
3.1	Aplicación de la simulación para la mensajería interna	26
3.1.1	Simulación del modelo actual en Arena.....	26
3.1.1.1	Componentes del modelo	26
3.1.1.2	Descripción del modelo.....	30
3.1.1.3	Validación del modelo	32
3.1.2	Simulación del modelo propuesto en Arena	39
3.1.2.1	Componentes del modelo	43
3.1.2.2	Descripción del modelo.....	45
3.1.2.3	Verificación de resultados del modelo.....	54
3.2	Aplicación de algoritmos heurísticos para la mensajería externa	61
3.2.1	Ubicación geográfica de los puntos de la ruta externa.....	61
3.2.2	Aplicación del Algoritmo de <i>Gillet Miller</i>	62
3.2.3	Aplicación del Algoritmo de <i>Clarke and Wright</i>	65
3.2.4	Aplicación del Algoritmo de Pétalos.....	76
3.2.5	Elección del Algoritmo Heurístico.	79
	CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN ECONÓMICA	81
4.1	Evaluación en mensajería interna	81
4.2	Evaluación en mensajería externa	82
4.3	Evaluación cuantitativa global.....	84
	CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85
5.1	Conclusiones	85

5.2 Recomendaciones	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Edificios de la Planta Central	15
Tabla 2. Distancias y tiempos de traslado entre edificios	18
Tabla 3. Tiempos de servicio por tipo de cliente	19
Tabla 4. Edificios fuera de la planta central.....	21
Tabla 5. Unidades de transporte.....	22
Tabla 6. Límites máximos de velocidades	22
Tabla 7. Puntos con mayor frecuencia de visita – Parte I.....	23
Tabla 8. Puntos con mayor frecuencia de visita – Parte II.....	24
Tabla 9. Kilómetros recorridos por cada unidad de transporte	25
Tabla 10. Parámetro del tiempo entre llegadas por tipo de cliente – Parte I.....	27
Tabla 11. Parámetro del tiempo entre llegadas por tipo de cliente – Parte II.....	28
Tabla 12. Disponibilidad de recursos de mensajería interna	29
Tabla 13. Campos de los bloques CREATE, ASSIGN y COUNT.....	31
Tabla 14. Resultados estadísticos de la simulación del modelo actual – Parte I....	33
Tabla 15. Resultados estadísticos de la simulación del modelo actual – Parte II...	34
Tabla 16. Intervalos de confianza – Simulación del modelo actual	35
Tabla 17. Cantidad de documentos entregados diariamente - Datos obtenidos de la empresa	36
Tabla 18. Validación del modelo actual – Parte I	37
Tabla 19. Validación del modelo actual – Parte II	38
Tabla 20. Campos de los bloques CREATE, ASSIGN, STATION y BRANCH para el edificio 1	46
Tabla 21. Campos de los bloques ASSIGN, DELAY y GROUP del paquete 1	48
Tabla 22. Condiciones del bloque BRANCH – Tercera parte del modelo.....	49
Tabla 23. Campos del bloque TALLY	49
Tabla 24. Condiciones del bloque BRANCH – Cuarta parte del modelo	51
Tabla 25. Campos de los bloques ASSIGN, WAIT y GROUP del sobre (1,j)	52

Tabla 26. Resultados estadísticos de la simulación del modelo propuesto – Parte I.....	55
Tabla 27. Resultados estadísticos de la simulación del modelo propuesto – Parte II.....	56
Tabla 28. Intervalos de confianza – Simulación del modelo propuesto	57
Tabla 29. Verificación del modelo propuesto – Parte I	58
Tabla 30. Verificación del modelo propuesto – Parte II	59
Tabla 31. Datos para la prueba de hipótesis de medias.....	61
Tabla 32. Listado de los puntos de mensajería externa	62
Tabla 33. Coordenadas de todos los puntos de mensajería externa.....	63
Tabla 34. Zonificación de los puntos de mensajería externa – Parte I	64
Tabla 35. Zonificación de los puntos de mensajería externa – Parte II	64
Tabla 36. Matriz de distancias de la zona 1 – Algoritmo de <i>Clarke and Wright</i>	66
Tabla 37. Matriz de ahorros de la zona 1 – Algoritmo de <i>Clarke and Wright</i>	67
Tabla 38. Rutas iniciales de la zona 1.....	68
Tabla 39. Iteraciones de la zona 1 – Parte I.....	68
Tabla 40. Iteraciones de la zona 1 – Parte II.....	69
Tabla 41. Ruta óptima para la zona 1 según el Algoritmo de <i>Clarke and Wright</i>	70
Tabla 42. Ruta óptima para la zona 2 según el Algoritmo de <i>Clarke and Wright</i>	71
Tabla 43. Ruta óptima para la zona 3 según el Algoritmo de <i>Clarke and Wright</i>	72
Tabla 44. Ruta óptima para la zona 4 según el Algoritmo de <i>Clarke and Wright</i>	73
Tabla 45. Kilómetros recorridos por ruta	74
Tabla 46. Datos para el cálculo del tamaño de muestra óptimo	74
Tabla 47. Parámetros de los escenarios propuestos	75
Tabla 48. Resultados de las cuatro rutas obtenidas por <i>Clarke and Wright</i> en un escenario pesimista	75
Tabla 49. Resultados de las cuatro rutas obtenidas por <i>Clarke and Wright</i> en un escenario moderado	76
Tabla 50. Resultados de las cuatro rutas obtenidas por <i>Clarke and Wright</i> en un escenario optimista.....	76

Tabla 51. Rutas arbitrarias - Algoritmo de Pétalos	77
Tabla 52. Resultados de LINDO	78
Tabla 53. Rutas óptimas obtenidas según el Algoritmo de Pétalos	78
Tabla 54. Resultados de las cuatro rutas obtenidas por el Algoritmo de Pétalos en un escenario pesimista	78
Tabla 55. Resultados de las cuatro rutas obtenidas por el Algoritmo de Pétalos en un escenario moderado	79
Tabla 56. Resultados de las cuatro rutas obtenidas por el Algoritmo de Pétalos en un escenario optimista	79
Tabla 57. Cuadro comparativo de la aplicación de los algoritmos	80
Tabla 58. Ahorro logrado en mensajería interna	81
Tabla 59. Distancias y tiempos anuales de la situación actual para mensajería externa	82
Tabla 60. Distancias y tiempos anuales de la situación propuesta – <i>Clarke and Wright</i>	82
Tabla 61. Datos para el cálculo del gasto	83
Tabla 62. Gasto actual anual	83
Tabla 63. Gasto estimado anual según <i>Clarke and Wright</i>	83
Tabla 64. Ahorro anual en combustible y mantenimiento.....	84
Tabla 65. Ahorros totales del área de mensajería.....	84

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Elaboración de Diagrama de Pareto.....	4
Gráfico 2. Dos rutas antes y después de ser unidas	10
Gráfico 3. Organigrama general de la empresa	13
Gráfico 4. Organigrama del área en estudio	13
Gráfico 5. Diagrama de flujo del proceso	14
Gráfico 6. Plano de ubicación de los edificios en el predio central	16
Gráfico 7. Esquema de atención de mensajería interna.....	17
Gráfico 8. Bloques de creación, asignación de atributos y contadores.....	30
Gráfico 9. Asignación del recurso “mensajeros”	31
Gráfico 10. Bloques para simular la cola y el traslado de los documentos	32
Gráfico 11. Esquema de atención propuesto de mensajería interna – Parte I.....	41
Gráfico 12. Esquema de atención propuesto de mensajería interna – Parte II.....	42
Gráfico 13. Generación de la entidad “Mensajero”	43
Gráfico 14. Liberación de documentos en espera.....	47
Gráfico 15. Modelo propuesto – Primera parte	47
Gráfico 16. Modelo propuesto – Segunda parte.....	49
Gráfico 17. Modelo propuesto – Tercera parte.....	50
Gráfico 18. Modelo propuesto – Cuarta parte	51
Gráfico 19. Modelo propuesto – Quinta parte	53
Gráfico 20. Campos del bloque ROUTE	53
Gráfico 21. Simulación del edificio 1	54
Gráfico 22. Generación de <i>clusters</i>	65
Gráfico 23. Ruta óptima para la zona 1 según el Algoritmo de <i>Clarke and Wright</i> ..	70
Gráfico 24. Ruta óptima para la zona 2 según el Algoritmo de <i>Clarke and Wright</i> ..	71
Gráfico 25. Ruta óptima para la zona 3 según el Algoritmo de <i>Clarke and Wright</i> ..	72
Gráfico 26. Ruta óptima para la zona 4 según el Algoritmo de <i>Clarke and Wright</i> ..	73

INTRODUCCIÓN

En el contexto actual en el que se desarrollan las empresas, el manejo de la información resulta fundamental para cualquier organización, sin embargo, aún muchas empresas no realizan una adecuada gestión de sus áreas de mensajería las cuales representan un medio de comunicación para la empresa ya que son las responsables del traslado de información física entre las áreas o sedes de cualquier organización.

El presente estudio plantea una propuesta de mejora para el área de mensajería de una empresa productora y distribuidora de productos de consumo masivo, debido a que en la actualidad las actividades de dicha área en esta empresa son llevadas a cabo empíricamente, lo cual genera una desorganización en sus procesos, en la distribución y la utilización de sus recursos. El estudio se desarrolla tanto en las áreas de mensajería interna y externa de la empresa, las mismas que serán analizadas y evaluadas a lo largo de los capítulos contenidos en este documento.

En el primer capítulo se explican los conceptos teóricos de las herramientas utilizadas a lo largo de la investigación. Para la mensajería interna la principal herramienta utilizada es la simulación de sistemas mediante el software ARENA. En el caso de la mensajería externa se describen las distintas heurísticas para el problema de ruteo de vehículos, tales como el Algoritmo de Ahorros y el Algoritmo de Pétalos.

En el segundo capítulo se realiza el levantamiento de información de la situación actual del área de mensajería, lo cual permite identificar los principales problemas de la mensajería interna y externa de la empresa.

En el tercer capítulo se realiza la aplicación de las herramientas descritas previamente con las cuales se obtienen distintas propuestas de mejora para los problemas identificados dentro el área de mensajería.

En el cuarto capítulo se presenta la evaluación cuantitativa de cada una de las propuestas de mejora planteadas en el tercer capítulo.

Finalmente en el quinto capítulo se dan las conclusiones y recomendaciones del trabajo desarrollado.



CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1 Probabilidad y Estadística

1.1.1 Principio de Pareto

Un diagrama de Pareto es una gráfica en donde se organizan distintas clasificaciones de datos por orden descendente de izquierda a derecha. Mediante los diagramas de Pareto se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia. Por lo general, el 80 % de los resultados se originan en el 20 % de los elementos. Los elementos más importantes se ubican listando todos los elementos por orden descendente. La gráfica es muy útil al permitir identificar visualmente en una sola revisión tales minorías de características vitales a las que es importante prestar atención.

Para construir un diagrama de Pareto se debe seguir lo siguiente:

1. Definir qué método se empleará para clasificar los datos: por problema, por causa, por tipo de rechazo, etc.
2. Definir si para clasificar la gradación de las características se va emplear el costo expresado en unidad monetaria (preferible) o la frecuencia.
3. Reunir los datos correspondientes a determinado proyecto.
4. Resumir los datos y disponer las categorías, de la mayor a la más pequeña.
5. En caso que se desee emplearlo, calcular el porcentaje acumulativo
6. Construir el diagrama y determinar la minoría vital.

El diagrama de Pareto es una poderosa herramienta para la mejora de la calidad, sirve para detectar problemas y para evaluar las mejoras logradas en un proceso¹.

¹ BESTERFIELD, Dale H. *Control de Calidad*, Cuarta Edición. Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 1996

A continuación el Gráfico 1 muestra un ejemplo del Diagrama de Pareto en donde se han representado algunos datos en un histograma.

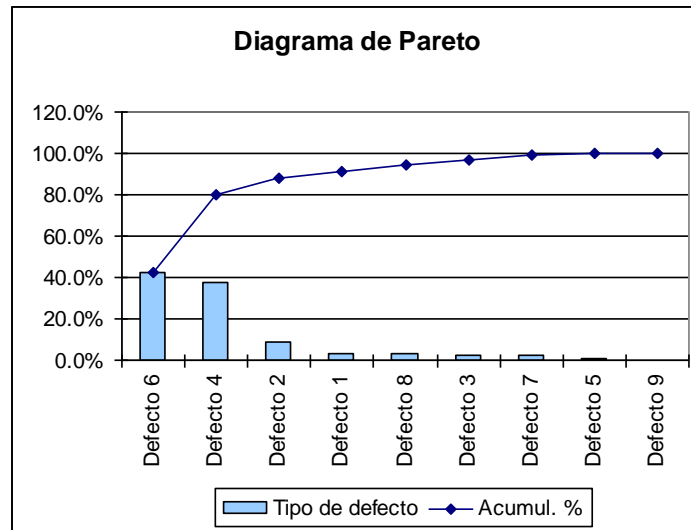


Gráfico 1. Elaboración de Diagrama de Pareto
Elaboración propia

Por el Principio de Pareto, se concluye que la mayor parte de los defectos encontrados pertenecen sólo a dos tipos de defectos (los “pocos vitales”), de manera que si se eliminan las causas que los provocan desaparecería la mayor parte de los defectos.

1.1.2 Intervalo de Confianza

El intervalo de confianza es un método de estimación de parámetros poblacionales desconocidos, en donde la estimación incluye un intervalo de extremos cerrados $[a, b]$ en el que están comprendidos los valores del parámetro. Los números a y b se obtienen a partir de la distribución de la estadística que estima puntualmente el parámetro y de los valores de la muestra. La amplitud del intervalo de confianza se determina por: el tamaño de la muestra, el nivel de confianza y la variabilidad de los datos.

Cuanto más datos hayan participado en el cálculo del intervalo de confianza, más pequeña esperamos que sea la diferencia entre el valor estimado y el valor real

desconocido. Según Mendenhall y Sincich (1997), para una población infinita se requiere definir un tamaño de muestra con el cual trabajar. Esta muestra representa una porción de la población total sujeta a estudio y se calcula de la siguiente forma.

$$n = \frac{\left(z_{1-\frac{\alpha}{2}} \sigma \right)^2}{e^2} \quad \dots (1)$$

Donde:

n = tamaño de muestra que se desea calcular

σ = desviación estándar

z = nivel de confianza

e = error de muestreo aceptable

La probabilidad de que el verdadero valor del parámetro se encuentre en el intervalo construido se denomina nivel de confianza, y se denota $1 - \alpha$. Generalmente se construyen intervalos con confianza $1 - \alpha = 95\%$ (o significancia $\alpha = 5\%$).

1.1.2.1 Intervalo de confianza para la media

Para estimar la media poblacional de una variable (μ) a través de intervalos de confianza, se usa la estadística media muestral (\bar{X}) que es el mejor estimador puntual del parámetro μ . Si el tamaño de muestra (n) es suficientemente grande ($n \geq 30$), la variable estandarizadora de \bar{X} tiene distribución aproximadamente normal estándar.

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \sim N(0,1)$$

Donde la varianza σ^2 es supuestamente conocida.

Para los casos donde el valor de la varianza σ^2 es desconocida y la población se distribuye normalmente, la variable pivote es la siguiente:

$$T = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \sim t(n - 1) \forall n \geq 2$$

Donde s es la desviación estándar muestral, por lo que el intervalo de estimación de μ es:

$$\bar{X} \pm t_0 \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right) \quad \dots(2)$$

El valor t_0 se obtiene de la tabla *t-student* con $n - 1$ grados de libertad de modo que $P[T \leq t_0] = 1 - \frac{\alpha}{2}$

1.2 Investigación de operaciones

1.2.1 Simulación de sistemas

“Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema”.

(Raúl Coss Bu, 2003)

Etapas para realizar un proyecto de simulación:

- **Definición del problema:** en esta etapa se debe identificar el problema a atacar y se debe definir de la manera más precisa posible, de este modo, la construcción del modelo se hará más sencilla.
- **Definición de objetivos:** se deben trazar los objetivos que se desean lograr con el proyecto de simulación.
- **Diseño del modelo conceptual:** en esta etapa se debe plasmar el sistema del mundo real en un modelo conceptual donde se establezca la estructura y la lógica de operación del sistema.
- **Recolección de datos:** se deben obtener los datos que serán necesarios para la construcción del modelo. La obtención de estos datos se debe realizar en forma sistemática para asegurar la construcción de un modelo apropiado.

- **Construcción del modelo:** se debe plasmar el modelo conceptual previamente planteado, en un modelo de simulación utilizando para ello algún software de simulación.
- **Verificación:** en esta etapa se verifica si la estructura y lógica del modelo conceptual están siendo reflejados correctamente por el modelo de simulación construido.
- **Validación:** en este proceso se determina si el modelo de simulación construido refleja correctamente el sistema real. Se puede realizar la validación del modelo comparando el valor de un indicador de desempeño tomado de la simulación, con el valor del mismo indicador de desempeño tomado del sistema real.
- **Diseño experimental:** en esta etapa se diseñan experimentos de simulación manipulando algunas variables llamadas “independientes” para medir el efecto que éstas causan en las variables “dependientes o de respuesta”.
- **Análisis de resultados:** se interpretan los resultados que arroja la simulación y a partir de ellos se toma una decisión.
- **Documentación:** incluye la elaboración de la documentación técnica y del manual de usuario. La documentación técnica debe contener una descripción detallada del modelo y de los datos. El manual de usuario debe ser una guía práctica que facilite la interpretación y el uso del modelo.
- **Implementación:** se procede a implementar el modelo simulado en el mundo real.

1.2.1.1 Simulación de sistemas en Arena

Arena es un software de simulación que permite simular procesos y visualizar resultados de posibles cambios en el modelo sin necesidad de aplicar dichos cambios en tiempo real.

A continuación se enumeran algunos conceptos que serán utilizados en la modelación del sistema de mensajería interna.

- **Entidad:** puede ser un objeto o persona que se mueve a través de un sistema y que causa cambios en las variables de estado.
- **Recurso:** elemento estacionario que proporciona servicio a una entidad. Los recursos se emplean para representar actividades claves del sistema que restringen el flujo de entidades.
- **Atributo:** característica propia de cada entidad. Cada entidad individual tiene su propio valor de atributo, esto implica que para determinar este valor, a diferencia de las variables, se debe examinar la entidad que lo porta.
- **Variables:** representan características del sistema. Son de carácter global; es decir; su valor es el mismo en cualquier parte del modelo.

1.2.2 Teoría de Redes

La red se representa por dos símbolos: arcos y nodos. Previamente se define un conjunto V de vértices o puntos extremos (nodos). El arco es un par ordenado de dos puntos extremos que representa una ruta de movimiento. Por ejemplo: para el arco (i, j) el movimiento es del nodo i al nodo j , donde i es el nodo inicial y j el nodo terminal.

Al tener una secuencia de arcos de tal modo que cada arco tenga un vértice en común con el arco previo o el siguiente, se está formando una cadena. Se puede definir una trayectoria como una cadena en la que el nodo terminal de cada arco es igual al nodo inicial del siguiente arco.

1.2.3 Problemas de ruteo de vehículos (VRP)

Dado un grupo de clientes y almacenes distintos en una ubicación geográfica y un conjunto de vehículos (flota), el problema de ruteo de vehículos consiste en establecer un grupo de rutas de tal modo que se genere un costo mínimo, comenzando y finalizando su ruta en uno de los almacenes de manera que el vehículo pase por los distintos clientes.

1.2.4 Heurísticas para el VRP

Consiste en el desarrollo de procedimientos que se encargan de explorar el espacio de búsqueda dando resultados aceptables en tiempos tolerables. Se pueden obtener mejores resultados usando métodos más específicos, pero ello demandaría un mayor tiempo de realización. Dichas heurísticas pueden ser ampliadas para manejar las características del VRP, a continuación se describen algunas de ellas.

1.2.4.1 El Algoritmo de *Gillet Miller*

Conocido también como método de barrido o *sweep*, trabaja con la lógica de agrupar primero para luego diseñar rutas (*cluster first, route second*).

Los *clusters* se forman girando una semirrecta con origen en el depósito e incorporando los clientes por dicha semirrecta hasta que se viole la restricción del problema. Cada cliente i debe estar dado por sus coordenadas (r_i, θ_i) en un sistema cuyo origen es el depósito.

Paso 1: ordenar los clientes según θ de manera creciente. En caso dos clientes tengan igual valor de θ , se tomará en cuenta primero el de menor valor de r .

Seleccionar un cliente w para comenzar y hacer $k = 1$ y $C_k = \{w\}$; donde k es el número de *clusters* generados y C_k es el *cluster* k .

Paso 2: seleccionar el siguiente cliente w_i . Si w_i puede ser agregado a C_k sin violar las restricciones, hacer $C_k = C_k \cup \{w_i\}$. Si no hacer $k = k + 1$ y crear un nuevo *cluster* $C_k = \{w_i\}$.

Realizar este paso hasta que todos los clientes pertenezcan a algún cluster.

Paso 3: diseñar rutas para cluster C_k .

1.2.4.2 El Algoritmo de Ahorros o *Clarke and Wright*

Es uno de los algoritmos más usados para el VRP y consiste en que dada una solución de dos rutas diferentes, éstas pueden combinarse de tal modo que se obtiene una nueva ruta a partir de la fusión de las mismas. La lógica de este algoritmo parte de una solución inicial y luego realiza las uniones que generen el mayor ahorro posible teniendo en cuenta las restricciones del problema.

Por ejemplo, si se tienen las dos rutas iniciales $(0, \dots, i, 0)$ y $(0, \dots, j, 0)$, éstas se pueden unir y formar la ruta $(0, \dots, i, j, \dots, 0)$ como se muestra en el Gráfico 2, con lo cual se obtiene el ahorro S_{ij} .

$$S_{ij} = C_{i0} + C_{0j} - C_{ij}$$

Donde:

C_{i0} : es la distancia entre los puntos 0 (origen) e i .

C_{0j} : es la distancia entre los puntos 0 (origen) y j .

C_{ij} : es la distancia entre los puntos i y j .

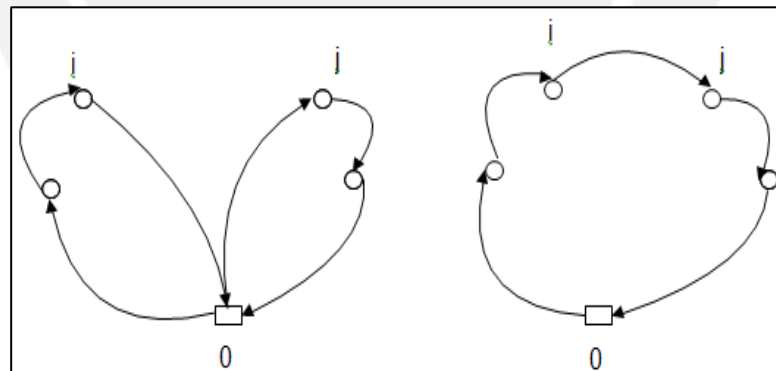


Gráfico 2. Dos rutas antes y después de ser unidas
Elaboración propia

Para unir los puntos (i, j) hay tres reglas que cumplir.

Regla 1: $T_{0i} ; T_{0j} > 0$

Donde T es el número de viajes entre un par de puntos. Si uno de los valores es $T = 0$, ello significaría que el punto en cuestión es un punto intermedio en una ruta ya establecida; por lo tanto, no podría unirse a ningún otro punto.²

Regla 2: i, j no deben estar en la misma ruta.

Regla 3: no se debe violar o incumplir ninguna restricción del sistema.

1.2.4.3 El Algoritmo de Pétalos

Supongamos que se dispone de un conjunto de rutas R , de modo que cada ruta $r \in R$ es factible, pero cada cliente es visitado por varias de las rutas. El problema de seleccionar un subconjunto de R de costo mínimo que visite exactamente una vez a cada cliente puede formularse como un *Set Partitioning Problem* (SPP):

$$\begin{aligned}
 & \min \sum_{k \in R} C_k x_k \\
 & \text{s. a. } \sum_{k \in R} a_{ik} x_k = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \\
 & \quad \quad \quad x_k \in \{0, 1\} \quad \forall k \in S
 \end{aligned}$$

Donde a_{ik} vale 1 si el cliente i es visitado por la ruta r_k y 0 si es que no, y donde C_k es el costo de la ruta r_k . La variable x_k indica si la ruta r_k es seleccionada o no en la solución final.

En el caso extremo de que R contenga todas las posibles rutas factibles, solucionar el SPP es equivalente a resolver el problema en forma exacta. Como la cantidad de rutas factibles es, en el caso general, exponencial a la cantidad de clientes, se suele generar solamente un subconjunto formado por “buenas” rutas.³

² CARREÑO, Adolfo. *Logística Industrial*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2009.

³ OLIVERA, Alfredo. *Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos*. Montevideo: Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, 2004.

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

2.1 Descripción de la empresa

La empresa es una manufacturera que se dedica a la producción, comercialización y distribución de productos industriales, productos de consumo masivo y animal; esto se realiza tanto a nivel nacional e internacional. Para poder continuar con su crecimiento, la empresa ha establecido la siguiente misión y visión:

Misión: “Somos una empresa dedicada a la producción y comercialización de alimentos y derivados, integrada por personas con espíritu de empresa, comprometidas en fijar nuevos estándares de excelencia en la satisfacción de los clientes. Queremos lograr nuevos niveles de éxito competitivo en cada categoría de negocios en los que competimos para beneficio de nuestros accionistas, de nuestros clientes y consumidores, de nuestros trabajadores y de las comunidades en las que operamos”. (La empresa 2012).

Visión: “Sorprendemos a los mercados con nuestro crecimiento agresivo e innovación. Transformamos categorías comunes en experiencias extraordinarias. Nuestro objetivo es estar entre las 250 empresas más grandes de Latinoamérica”. (La empresa 2012).

A continuación en el Gráfico 3 se muestra el organigrama general de la empresa y en el Gráfico 4 se muestra el organigrama del área en estudio.

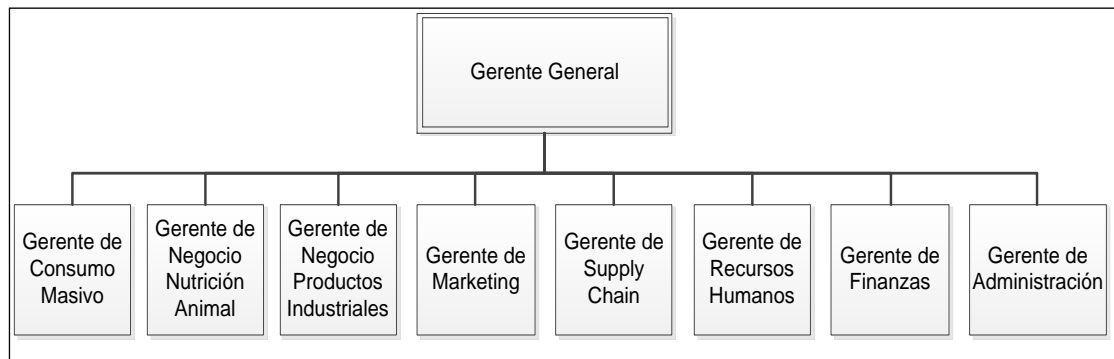


Gráfico 3. Organigrama general de la empresa
Elaboración propia

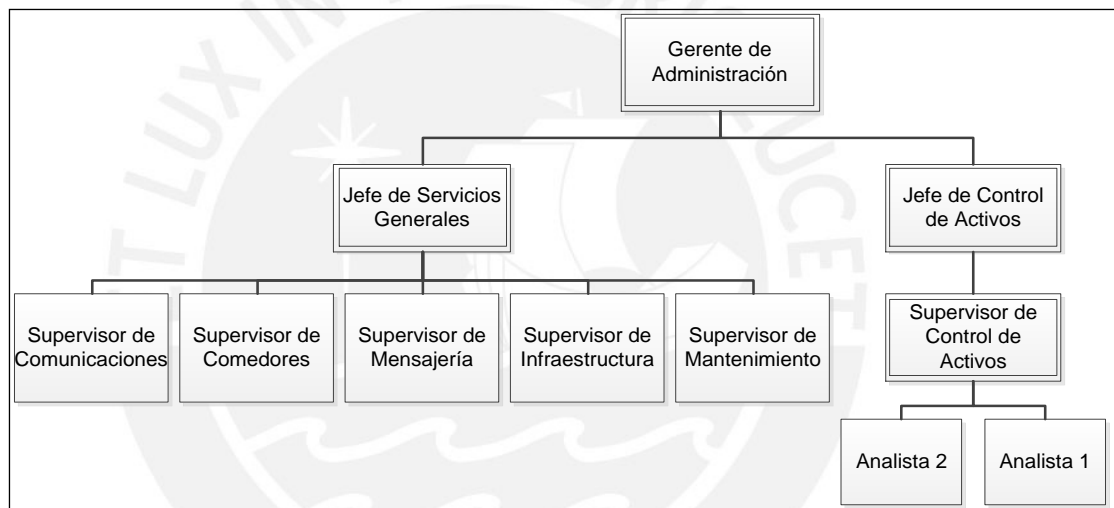


Gráfico 4. Organigrama del área en estudio
Elaboración propia

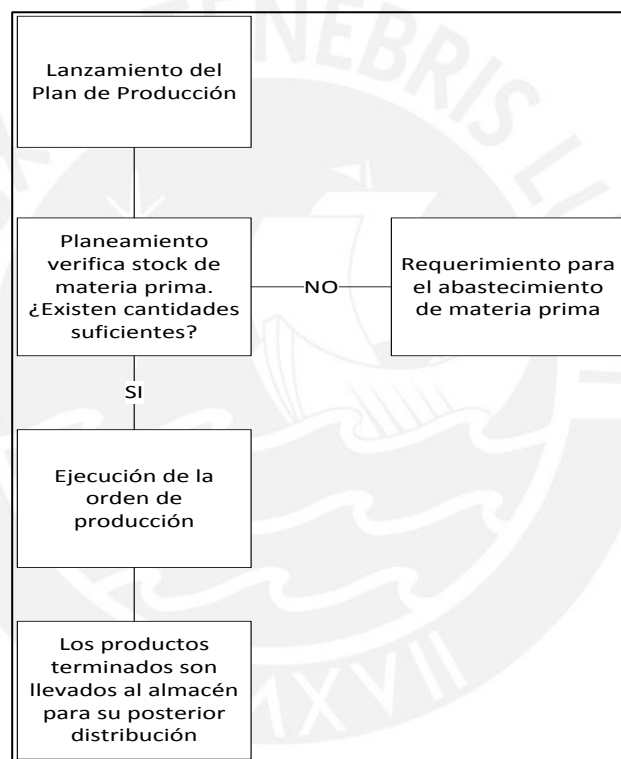
En la empresa, es posible identificar dos procesos: el de negocio, que se relaciona directamente con el producto, y el de soporte, que se relaciona indirectamente con el producto.

a) Proceso de negocio

1. Los procesos se lanzan mediante ventas o marketing.
2. Se informa a planeamiento para que vea el stock disponible.

3. En el centro de distribución (CDC) se ordena la adquisición de los insumos para luego lanzar el pedido a producción.
4. A su vez CDC debe revisar constantemente sus inventarios para solicitar en su debido momento los insumos necesarios para poder cumplir con el plan de producción.
5. Producción fabrica los productos pedidos y los envía a CDC para su distribución.

A continuación el Gráfico 5 resume el proceso mencionado anteriormente.



**Gráfico 5. Diagrama de flujo del proceso
Elaboración propia**

b) Proceso de soporte

1. Desarrollo tecnológico debe estar en constante investigación para brindar equipos de alta tecnología para una mejor fabricación del producto y así generar valor agregado. Además de ello, debe investigar nuevas formas de procesamiento para elevar la productividad.

2. Para que todo marche en óptimas condiciones, se necesita de las áreas de soporte, que son las que apoyan en la gestión del proceso de negocio. Entre ellas tenemos: mesa de ayuda, mensajería, sistemas de control para entrada y salida de productos.

2.1.1 Descripción del área de mensajería

El área de mensajería pertenece al área de Administración – Servicios Generales, y su objetivo principal es hacer entrega y recolecciones de documentos y paquetes en Lima y Callao. Dichos requerimientos pueden ser a nivel interno y externo.

2.1.1.1 Mensajería interna

Envío y recepción de documentos entre distintas áreas que se encuentran ubicadas en la misma planta central de la empresa. Dichas áreas están separadas físicamente y se ubican en los nueve edificios que se listan a continuación en la Tabla 1 y se muestran en el Gráfico 6.

Tabla 1. Edificios de la Planta Central

Edificio	
1	Galletera
2	Molino Faucett
3	Marketing
4	Mensajería central
5	Edificio central
6	Ventas
7	Copsa
8	Acopio
9	CDC

Elaboración propia

en mensajería central, éste acude inmediatamente a atender el requerimiento del usuario. Sin embargo, si no hay ningún mensajero disponible, el usuario tendrá que volver a llamar después para que su solicitud pueda ser atendida.

Una vez que el mensajero ha entregado el documento en el edificio de destino, debe regresar al edificio de mensajería central para poder atender a futuros requerimientos de los usuarios de cualquier otro edificio. A continuación en el Gráfico 7 se muestra cuál es el esquema de atención actual de los documentos.

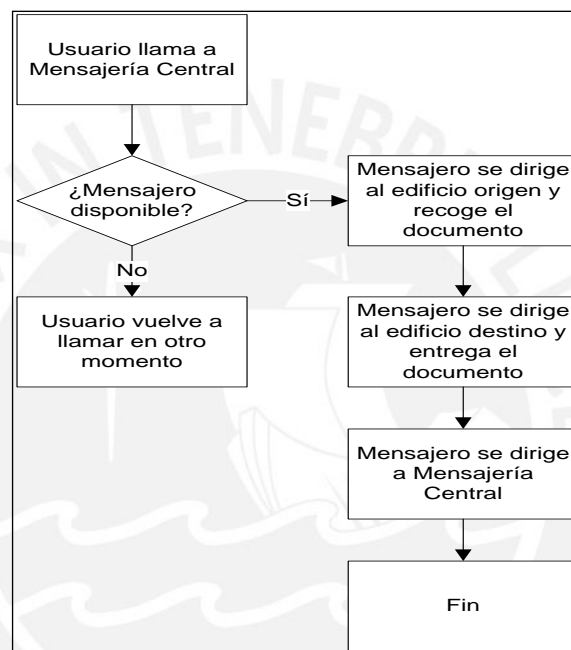


Gráfico 7. Esquema de atención de mensajería interna
Elaboración propia

Si en la situación descrita las entidades o clientes del sistema son los documentos generados en cada edificio, y de acuerdo con lo mencionado anteriormente con respecto al traslado de éstos, entonces se puede definir como tiempo de servicio al intervalo de tiempo que se ocupa desde que el mensajero es solicitado hasta que éste vuelve al edificio de mensajería central para poder atender a cualquier otra solicitud. Por ello, el tiempo de servicio abarca los siguientes traslados:

- De mensajería central al edificio de origen del documento (*traslado x*).
- Del edificio de origen al edificio destino (*traslado y*).

- Del edificio destino a mensajería central (*traslado z*).

A continuación la Tabla 2 muestra las distancias y tiempos de traslado⁴ de un edificio a otro, considerando los edificios listados previamente en la Tabla 1.

Tabla 2. Distancias y tiempos de traslado entre edificios

Edificio origen	Edificio destino	Distancia (km)	Tiempo de traslado (s)	Edificio origen	Edificio destino	Distancia (km)	Tiempo de traslado (s)
1	2	0.18	132.84	3	7	0.48	342.33
1	3	0.40	288.28	3	8	0.85	612.59
1	4	0.50	360.35	3	9	0.98	702.67
1	5	0.64	459.44	4	5	0.13	90.09
1	6	0.64	459.44	4	6	0.13	90.09
1	7	0.88	630.60	4	7	0.38	270.26
1	8	1.25	900.86	4	8	0.75	540.52
1	9	1.38	990.95	4	9	0.88	630.60
2	3	0.31	225.22	5	6	0.13	90.09
2	4	0.41	297.29	5	7	0.50	360.35
2	5	0.54	387.37	5	8	0.88	630.60
2	6	0.54	387.37	5	9	1.00	720.69
2	7	0.79	567.54	6	7	0.30	216.21
2	8	1.16	837.80	6	8	0.88	630.60
2	9	1.29	927.89	6	9	1.00	720.69
3	4	0.10	72.07	7	8	0.38	270.26
3	5	0.23	162.16	7	9	0.50	360.35
3	6	0.23	162.16	8	9	0.84	603.58

Elaboración propia

Además de los traslados antes mencionados, se considera también dentro del tiempo de servicio, un periodo promedio de 10 minutos destinado a ubicar a la persona a la cual va dirigida el sobre, y un tiempo de un minuto que corresponde a la duración promedio de la llamada que realizan desde los edificios a mensajería central solicitando el servicio de los mensajeros. Considerando lo expuesto

⁴ Para el cálculo de los tiempos de traslado de un edificio a otro se consideró que la velocidad promedio de una persona es aproximadamente 5 km/hora (fuente: Heriberto G. Contreras Garibay, Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana, Volumen XIX, Número 1, Enero Abril de 2006).

anteriormente, la siguiente expresión resume los traslados y tiempos considerados dentro del tiempo de servicio.

$$\text{Tiempo de servicio} = \text{tiempo de traslado } x + \text{tiempo de traslado } y + \text{tiempo de traslado } z + 10 \text{ minutos} + 1 \text{ minuto.}$$

A continuación la Tabla 3 muestra el tiempo de servicio para cada tipo de cliente⁵.

Tabla 3. Tiempos de servicio por tipo de cliente

Tipo de cliente	Tiempo de servicio (s)	Tipo de cliente	Tiempo de servicio (s)	Tipo de cliente	Tiempo de servicio (s)
Cliente 12	1450	Cliente 41	1381	Cliente 71	1921
Cliente 13	1381	Cliente 42	1255	Cliente 72	1795
Cliente 14	1381	Cliente 43	804	Cliente 73	1345
Cliente 15	1570	Cliente 45	840	Cliente 74	1201
Cliente 16	1570	Cliente 46	840	Cliente 75	1381
Cliente 17	1921	Cliente 47	1201	Cliente 76	1237
Cliente 18	2462	Cliente 48	1741	Cliente 78	1741
Cliente 19	2642	Cliente 49	1921	Cliente 79	1921
Cliente 21	1450	Cliente 51	1570	Cliente 81	2462
Cliente 23	1255	Cliente 52	1435	Cliente 82	2336
Cliente 24	1255	Cliente 53	984	Cliente 83	1885
Cliente 25	1435	Cliente 54	840	Cliente 84	1741
Cliente 26	1435	Cliente 56	930	Cliente 85	1921
Cliente 27	1795	Cliente 57	1381	Cliente 86	1921
Cliente 28	2336	Cliente 58	1921	Cliente 87	1741
Cliente 29	2516	Cliente 59	2101	Cliente 89	2435
Cliente 31	1381	Cliente 61	1570	Cliente 91	2642
Cliente 32	1255	Cliente 62	1435	Cliente 92	2516
Cliente 34	804	Cliente 63	984	Cliente 93	2065
Cliente 35	984	Cliente 64	840	Cliente 94	1921
Cliente 36	984	Cliente 65	930	Cliente 95	2101
Cliente 37	1345	Cliente 67	1237	Cliente 96	2101
Cliente 38	1885	Cliente 68	1921	Cliente 97	1921
Cliente 39	2065	Cliente 69	2101	Cliente 98	2435

Elaboración propia

⁵ El tipo de cliente se ha definido según el edificio origen y edificio de destino de cada documento. Para mayor detalle ver el acápite 3.1.1.1

Se considera el tiempo de servicio constante para cada tipo de cliente puesto que dicho tiempo depende principalmente de los tiempos de traslados de un edificio a otro (constante).

Cabe señalar también que adicionalmente a los documentos generados en los edificios que se encuentran dentro del predio central, existe documentación que llega de puntos externos a la planta y que debe ser entregada en los edificios ubicados dentro del predio central. Así mismo, en cada uno de estos edificios se generan también documentos que deben ser enviados en puntos externos a la planta. En estos casos, la documentación con origen o destino en puntos externos a la planta, se concentra en el edificio de mensajería central.

2.1.1.2 Mensajería externa

Es el envío y recepción de documentos y paquetes entre las distintas plantas de la empresa, clientes, proveedores y otras entidades.

Actualmente las unidades destinadas para la mensajería externa no tienen una ruta definida para recoger o llevar los paquetes, lo cual representa un problema para la empresa ya que los puntos por los cuales deben pasar dichas unidades se encuentran distribuidos en los diferentes distritos de Lima Metropolitana y Callao.

Para realizar las actividades del área, se cuenta con cuatro trabajadores y cuatro unidades de transporte disponibles. Una de dichas unidades se encarga exclusivamente de todas las plantas de la empresa que se encuentran ubicadas fuera del predio central; y las otras tres unidades realizan recorridos arbitrarios según los requerimientos del día a día.

A continuación se presenta la Tabla 4 donde figuran las plantas ubicadas fuera de la planta central.

Tabla 4. Edificios fuera de la planta central

Plantas externas	Dirección	Distrito
Planta 1	Av. Argentina 1295	Lima
Planta 2	Calle Los Talladores 141, Urb. Los Artesanos	Ate
Planta 3	Jr. Huáscar 143	Callao
Planta 4	Av. Pedro Ruiz 410	Callao
Planta 5	Jr. Fausto Gastañeta 154	Rímac
Planta 6	Jr. Chamaya 280	Breña
Planta 7	Calle Chinchón 944	San Isidro

Elaboración propia

Al no existir rutas establecidas, muchas veces las unidades realizan recorridos innecesarios, puesto que pasan por un mismo punto más de una vez al día. Esto implica un mayor costo para la empresa debido a que no se optimiza el uso de los recursos. Por otro lado, al no existir una ruta asignada a cada unidad, no es posible realizar un control del recorrido de dicha unidad lo cual hace difícil poder resolver imprevistos.

2.2 Descripción de la problemática

2.2.1 Determinación de recursos disponibles

El área de mensajería cuenta con nueve empleados los cuales se encargan de la mensajería externa e interna de la empresa. El horario de trabajo es de lunes a viernes de 8.30 am – 5:30 pm considerando dentro de este horario una hora para el almuerzo.

Además el área de Administración cuenta con las unidades de transporte que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Unidades de transporte

Mensajería externa	
Unidades	Recurso
2	Pick up
2	Tico

Elaboración propia

Dichas unidades de transporte deben ceñirse al Reglamento de Tránsito; es decir, no deben exceder los límites de velocidad permitidos. En la Tabla 6 se muestran los límites máximos de velocidades.

Tabla 6. Límites máximos de velocidades

Límite máximo permitido (km/h)			
Calle y jirón	Avenida	Vía Expresa	Zona escolar y hospital
40	60	80	30

Elaboración propia

Asimismo el área de mensajería tiene la responsabilidad de preparar los despachos a provincias y realizar las coordinaciones respectivas con la empresa Courier. Dichas tareas son realizadas por los trabajadores al finalizar sus labores en el día, lo cual provoca que muchas veces se incurra en horas extras.

2.2.2 Análisis y determinación de los puntos más frecuentes para mensajería externa

En este punto se evaluarán y mostrarán sólo los puntos que son visitados con mayor frecuencia por los empleados de mensajería externa, lo que ayudará a identificar los puntos de mayor incidencia sobre los cuales se propondrán mejoras que optimicen los recorridos.

Para ello, resumimos los puntos que son visitados fuera de la planta central de la empresa a partir de la data histórica recopilada, para luego determinar la frecuencia de visita de cada uno de ellos.

Se optó por analizar el mes de setiembre del 2012 porque presentaba mayor cantidad de visitas a distintos puntos, lo cual lo convierte en un mes crítico ya que por tener mayor cantidad de puntos por visitar demandó mayor cantidad de recursos. Sin embargo, decidimos utilizar el Principio de Pareto para seleccionar los principales puntos destinos para los empleados de mensajería externa, porque presentaron mayor frecuencia de visita en el mes de setiembre. La aplicación del Principio de Pareto se muestra en las Tablas 7 y 8.

Tabla 7. Puntos con mayor frecuencia de visita – Parte I

Punto de visita	Frecuencia	Frecuencia %	Frecuencia acumulada %
Planta Molino Callao	77	5.7%	5.7%
COGESA	62	4.6%	10.3%
Planta Alianza	55	4.1%	14.4%
Banco Continental	51	3.6%	18.1%
Planta Molino Santa Rosa	49	3.5%	21.5%
Sunat - Callao	47	3.4%	25.0%
Banco de Crédito	46	3.3%	28.2%
Lucky	44	3.1%	31.4%
Planta Rímac	42	3.1%	34.5%
Planta Ate	42	2.8%	37.3%
Sunat - Lima	38	2.7%	40.0%
Banco Scotiabank	36	2.5%	42.5%
Banco Interbank	34	2.5%	44.9%
Banco de la Nación	33	2.2%	47.2%
Banco Interamericano de Finanzas	30	1.5%	48.7%
Fotochecks y sistemas	20	1.4%	50.1%
Transportes Chan Chan	19	1.3%	51.4%
Universidad de Lima	18	1.2%	52.6%
PUCP	16	1.2%	53.8%
UPC	16	1.2%	55.0%
Orus	16	1.1%	56.1%
Yobel	15	1.1%	57.2%
UNMSM	15	1.0%	58.2%
Banco de la Nación - Callao	14	1.0%	59.3%
Perú Plast	14	1.0%	60.3%
UDEP	14	1.0%	61.3%
Sunat San Isidro	13	0.9%	62.2%
SENASA	12	0.9%	63.1%
Intertek Testing	12	0.8%	63.9%
Universidad del Pacífico	11	0.8%	64.7%
Sitel	11	0.8%	65.5%
Ransa	11	0.8%	66.3%
Notaria Gálvez	11	0.7%	67.1%
Apoyo & Asociados	10	0.7%	67.8%
UNALM	10	0.7%	68.6%
Schienza	10	0.7%	69.2%

Elaboración propia

Tabla 8. Puntos con mayor frecuencia de visita – Parte II

Punto de visita	Frecuencia	Frecuencia %	Frecuencia acumulada %
Minka	9	0.7%	69.9%
Ministerio de Trabajo	9	0.7%	70.6%
ESAN	9	0.6%	71.2%
Microbiol	8	0.6%	71.8%
Movistar	8	0.5%	72.3%
América Televisión	7	0.5%	72.8%
Accor Services	7	0.5%	73.3%
Universal textil	7	0.4%	73.8%
Trupal	6	0.4%	74.1%
Telefónica	5	0.4%	74.5%
RENIEC - San Borja	5	0.4%	74.9%
Publis Asociados	5	0.4%	75.3%
Hiraoka	5	0.3%	75.6%
Emusa	4	0.3%	75.9%
Dummies Art	4	0.3%	76.2%
DIGESA	4	0.3%	76.4%
Creatique	4	0.3%	76.7%
Corporación refrigerados	4	0.2%	77.0%
Corferias del Pacífico	3	0.2%	77.2%
Cimagraf	3	0.2%	77.4%
RENIEC - Lima	3	0.2%	77.6%
Socorro Express	3	0.2%	77.9%
Serpost	3	0.2%	78.1%
Senati	3	0.2%	78.3%
Sedapal	3	0.1%	78.5%
Secrex	2	0.1%	78.6%
San Miguel Industrial	2	0.1%	78.8%
Planta Breña	2	0.1%	78.9%
Pacífico Seguro	2	0.1%	79.0%
Oficentro	2	0.1%	79.2%
Nestlé	2	0.1%	79.3%
Ministerio de la Producción	2	0.1%	79.5%
Ministerio de Agricultura	2	0.1%	79.6%
Metro	2	0.1%	79.8%
Mediavest	2	0.1%	79.9%
Loyalti Perú	2	0.1%	80.0%

Elaboración propia

2.2.3 Análisis de indicadores de desempeño

Uno de los indicadores que usa el área de mensajería externa para medir la eficiencia del recorrido de cada vehículo es el kilometraje marcado por cada uno

de ellos. A continuación la Tabla 9 muestra el kilometraje promedio anual de cada unidad de transporte del año 2012.

Tabla 9. Kilómetros recorridos por cada unidad de transporte

	Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3	Unidad 4
	Kilómetros recorridos	Kilómetros recorridos	Kilómetros recorridos	Kilómetros recorridos
Total anual	16139.40	15715.24	27468.12	22127.24

Elaboración propia



CAPÍTULO 3. MODELAMIENTO DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTA DE MEJORA

3.1 Aplicación de la simulación para la mensajería interna

3.1.1 Simulación del modelo actual en Arena

Para realizar la simulación del modelo actual de mensajería interna se deben definir primero los componentes del sistema y luego se diseña el modelo en Arena.

3.1.1.1 Componentes del modelo

- a) **Entidades:** son los documentos que se generan en los edificios del predio central y necesitan ser trasladados de un edificio a otro. Para la simulación del sistema se han considerado 72 tipos de clientes o entidades, los cuales han sido definidos de acuerdo con el edificio de origen y destino, considerando los edificios enumerados en la Tabla 1.

La declaración de la variable que define el tipo de cliente está dada por:

X_{ij} = Documento que sale del edificio i con destino al edificio j .

Donde $i, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ e $i \neq j$

1 = Galletera, 2 = Molino Faucett, 3 = Marketing, 4 = Mensajería central, 5 = Edificio central, 6 = Ventas, 7 = Copsa, 8 = Acopio, 9 = CDC.

Más adelante esta información acerca del edificio de origen y de destino de cada documento será definido como un atributo.

Para realizar la aplicación del caso, se determinó la distribución que seguía el tiempo entre llegadas de los documentos al sistema y el parámetro estimado respectivo. Para la obtención del tiempo entre llegadas de los documentos, primero se identificó el tipo de cliente para luego realizar la

medición del tiempo que transcurría hasta la llegada del próximo documento (mismo tipo de cliente). Éste procedimiento se realizó en los nueve edificios que se están considerando dentro del análisis. Luego se introdujeron los datos observados en el programa *Input Analyzer*, el cual nos permite determinar cuál es la distribución que mejor se ajusta a los datos ingresados. Para la elección de dicha distribución, se seleccionó a la que presentara el menor error cuadrático así como un *p-value* mayor a 5%. De esta forma se obtuvieron el tipo de distribución, el parámetro estimado y la desviación estándar para el tiempo entre llegadas de cada tipo de cliente. Dicha información se muestra a continuación en las Tablas 10 y 11.

Tabla 10. Parámetro del tiempo entre llegadas por tipo de cliente – Parte I

Tipo de cliente	Distribución	Parámetro (s)	Error cuadrático	P-Value
Cliente 12	Exponencial	3570	0.000159	0.65
Cliente 13	Exponencial	4310	0.000194	0.26
Cliente 14	Exponencial	3570	0.000065	0.75
Cliente 15	Exponencial	4810	0.000226	0.08
Cliente 16	Exponencial	4490	0.000182	0.40
Cliente 17	Exponencial	5440	0.000054	0.75
Cliente 18	Exponencial	2710	0.000230	0.10
Cliente 19	Gamma	3140 , 0.994	0.000114	0.45
Cliente 21	Exponencial	8340	0.000159	0.65
Cliente 23	Exponencial	7240	0.000199	0.32
Cliente 24	Exponencial	6140	0.000138	0.31
Cliente 25	Exponencial	4510	0.000062	0.75
Cliente 26	Exponencial	6200	0.000125	0.70
Cliente 27	Exponencial	6650	0.000062	0.35
Cliente 28	Exponencial	7570	0.000152	0.07
Cliente 29	Gamma	7360 , 0.987	0.000286	0.11
Cliente 31	Exponencial	11100	0.000194	0.26
Cliente 32	Exponencial	11100	0.000159	0.65
Cliente 34	Exponencial	2220	0.000153	0.36
Cliente 35	Exponencial	3450	0.000314	0.54
Cliente 36	Exponencial	2930	0.000083	0.75
Cliente 37	Exponencial	5460	0.000128	0.75
Cliente 38	Gamma	8540 , 0.991	0.000098	0.75
Cliente 39	Exponencial	5900	0.000253	0.35
Cliente 41	Exponencial	7650	0.000194	0.26
Cliente 42	Exponencial	3270	0.000065	0.75
Cliente 43	Exponencial	2520	0.000226	0.08
Cliente 45	Exponencial	887	0.000126	0.52
Cliente 46	Exponencial	2200	0.000254	0.21

Elaboración propia

Tabla 11. Parámetro del tiempo entre llegadas por tipo de cliente – Parte II

Tipo de cliente	Distribución	Parámetro (s)	Error cuadrático	P-Value
Cliente 47	Exponencial	1420	0.000202	0.38
Cliente 48	Exponencial	9140	0.000091	0.75
Cliente 49	Exponencial	2230	0.000067	0.43
Cliente 51	Exponencial	8080	0.000182	0.40
Cliente 52	Exponencial	4790	0.000058	0.75
Cliente 53	Exponencial	3200	0.000228	0.10
Cliente 54	Exponencial	1080	0.000117	0.48
Cliente 56	Gamma	1900 , 0.992	0.000169	0.30
Cliente 57	Exponencial	2950	0.000199	0.55
Cliente 58	Exponencial	6480	0.000128	0.41
Cliente 59	Exponencial	4480	0.000173	0.23
Cliente 61	Exponencial	12300	0.000199	0.32
Cliente 62	Exponencial	3740	0.000137	0.29
Cliente 63	Exponencial	2650	0.000062	0.75
Cliente 64	Exponencial	1690	0.000125	0.70
Cliente 65	Exponencial	3400	0.000060	0.37
Cliente 67	Exponencial	4120	0.000167	0.65
Cliente 68	Exponencial	11200	0.000261	0.50
Cliente 69	Exponencial	3190	0.000080	0.51
Cliente 71	Exponencial	8640	0.000152	0.07
Cliente 72	Exponencial	2650	0.000296	0.12
Cliente 73	Exponencial	5750	0.000147	0.40
Cliente 74	Exponencial	1310	0.000314	0.54
Cliente 75	Exponencial	2330	0.000083	0.75
Cliente 76	Exponencial	4390	0.000128	0.75
Cliente 78	Exponencial	1930	0.000195	0.75
Cliente 79	Gamma	5260 , 0.991	0.000152	0.63
Cliente 81	Exponencial	9530	0.000104	0.75
Cliente 82	Exponencial	9210	0.000253	0.35
Cliente 83	Exponencial	17900	0.000138	0.53
Cliente 84	Exponencial	3860	0.000254	0.21
Cliente 85	Exponencial	3690	0.000202	0.38
Cliente 86	Exponencial	11000	0.000088	0.75
Cliente 87	Exponencial	2110	0.000067	0.43
Cliente 89	Exponencial	8030	0.000379	0.45
Cliente 91	Exponencial	11400	0.000178	0.54
Cliente 92	Exponencial	8320	0.000199	0.55
Cliente 93	Exponencial	115000	0.000128	0.41
Cliente 94	Exponencial	3630	0.000167	0.23
Cliente 95	Exponencial	4660	0.000165	0.67
Cliente 96	Exponencial	4240	0.000265	0.50
Cliente 97	Exponencial	2540	0.000080	0.51
Cliente 98	Exponencial	3360	0.000195	0.75

Elaboración propia

- b) Atributos:** para la simulación de la situación actual de mensajería interna, se ha utilizado un atributo denominado “TIPO CLIENTE” que permite identificar el edificio de origen y el edificio destino del documento generado.
- c) Recursos:** son los elementos que llevan a cabo las actividades claves del sistema. En el caso de mensajería interna, los recursos son las personas encargadas de transportar los documentos entre los distintos puntos de la planta, a quienes se les denominará “mensajero”. Como ya se mencionó, en la actualidad se contabilizan cinco empleados en mensajería interna, uno de ellos realiza exclusivamente labores administrativas, por lo que sólo se considerarán cuatro mensajeros (recursos) disponibles para las tareas de rutina.
- d) Horarios:** representan el periodo de tiempo en que los recursos del sistema realizarán las actividades a las que están asignados y el tiempo muerto que tienen asignado a refrigerio. Para la simulación del modelo actual de mensajería interna, se tuvo en cuenta el horario de trabajo de la empresa, y se le añadió un tiempo de 45 minutos considerando el tiempo máximo de servicio (vea la Tabla 3), ello debido a que se debe asegurar que todos los documentos deben ser entregados necesariamente el mismo día en el que se generan. A continuación en la Tabla 12 se muestra el horario de trabajo y la disponibilidad de mensajeros.

Tabla 12. Disponibilidad de recursos de mensajería interna

Hora	Mensajeros disponibles
08:30 - 13:00	4
13:00 - 14:00	0
14:00 - 18:15	4

Elaboración propia

- e) Colas:** representan el tiempo que los documentos deben esperar antes de ser trasladados al edificio destino por algún mensajero del sistema. Para la simulación del proceso actual, se ha definido una cola por cada tipo de cliente.
- f) Contadores:** permiten medir la cantidad de documentos trasladados o atendidos diariamente. En el modelo se han definido tantos contadores como tipos de clientes hay en el sistema.

3.1.1.2 Descripción del modelo

La simulación de la situación actual se realizó bajo el supuesto de que los usuarios (empleados de la empresa) sólo pueden generar documentos desde las 8:30 am hasta las 5:30 pm, ya que deben cumplir con el reglamento interno de seguridad de la empresa. Por este motivo, se ha considerado también que todos los documentos deben ser entregados el mismo día de su generación.

Para simular la llegada de cada tipo de cliente se utilizaron bloques CREATE donde se ingresaron la distribución y el parámetro respectivo por cada tipo de cliente (esta información se muestra en las Tablas 10 y 11). De igual forma, en cada bloque se restringió la generación de entidades según el horario de trabajo de la empresa, la cual opera desde las 8:30 am a 5:30 pm. Por otro lado, se utilizaron bloques ASSIGN para asignarle a cada documento generado, el atributo “TIPO CLIENTE”, que identifica el edificio de origen y de destino del documento.

Luego, para poder cuantificar la cantidad de documentos entregados, se utilizó un bloque COUNT por cada tipo de cliente. A continuación el Gráfico 8 muestra algunos bloques de la primera parte del modelo.

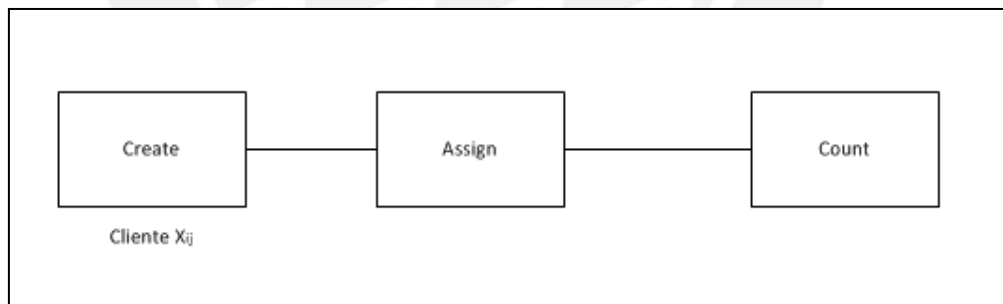


Gráfico 8. Bloques de creación, asignación de atributos y contadores
Elaboración propia

Para cada tipo de cliente fue necesario llenar los campos de los bloques CREATE, ASSIGN y COUNT de la manera indicada en la Tabla 13.

Tabla 13. Campos de los bloques CREATE, ASSIGN y COUNT

Bloque	Campo / Atributo	Valor
CREATE	Batch Size	1
	First Creation	Instante en el que se generan los documentos (según el horario de trabajo de la empresa).
	Interval	Distribución y parámetro de la tasa de llegada de los documentos (vea el modelo en el Anexo 1).
	Maximun Batches	Limitación de la generación de documentos según el horario de trabajo de la empresa, representada por la expresión: 100000*((TNOW<63000&&TNOW>=50400) ((TNOW<46800)))
ASSIGN	Tipo Cliente	12, 13, 14, etc. según el tipo de cliente (vea el acápite 3.1.1.1)
COUNT	Counter ID	Cientes12Entregados, Cientes13Entregados, etc. Según el tipo de cliente al que está asociado el contador (vea el modelo en el Anexo 1).
	Counter Increment	1

Elaboración propia

Luego de que los documentos son generados, éstos deben esperar a que un mensajero se encuentre disponible y pueda trasladarlos al edificio de destino. Para simular la espera de los documentos se utilizaron bloques QUEUE para cada tipo de cliente.

El documento que se libera de la cola pasa al bloque SEIZE, el cual asigna el primer recurso disponible del sistema a la entidad liberada de la cola. Los campos que se llenaron para cada bloque SEIZE son los que se muestran en el Gráfico 9.

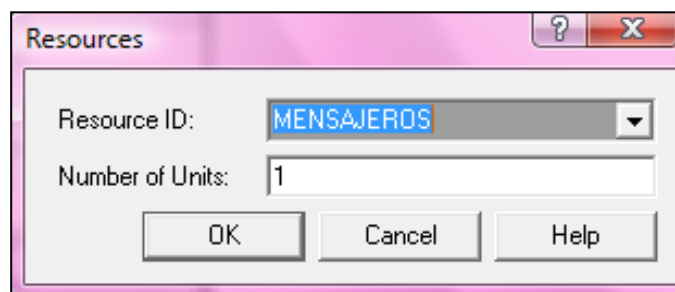


Gráfico 9. Asignación del recurso “mensajeros”
Elaboración propia

Para la simulación del tiempo de servicio se utilizó un bloque DELAY, donde la duración depende del tipo de cliente que se esté trasladando según como se mostró en la Tabla 3. A continuación, se colocó un bloque RELEASE para liberar al recurso una vez que se haya finalizado el traslado del documento respectivo.

Finalmente, se unió al modelo el bloque DISPOSE, el cual indica la finalización del traslado del documento al edificio destino correspondiente. A continuación el Gráfico 10 muestra ésta última parte del modelo.

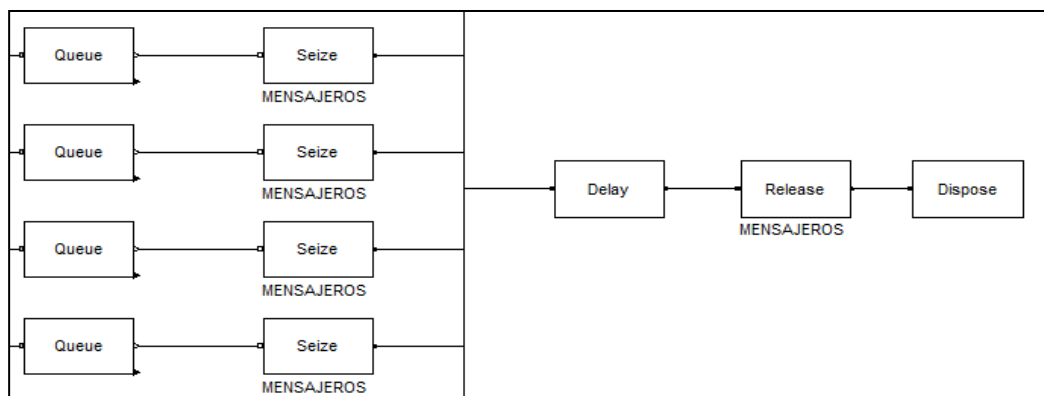


Gráfico 10. Bloques para simular la cola y el traslado de los documentos
Elaboración propia

Cabe señalar que el Gráfico 10 muestra los bloques QUEUE y SEIZE sólo para algunos tipos de clientes. El detalle del modelo está en el Anexo 1.

3.1.1.3 Validación del modelo

Para realizar la validación del modelo, fue necesario calcular primero el tamaño de muestra (número de réplicas) óptimo para cada tipo de cliente, con el cual se pudiera obtener una adecuada estimación del intervalo de confianza para la cantidad promedio de documentos entregados diariamente de cada tipo de cliente. Para calcular el tamaño de muestra óptimo, se utilizó un tamaño de muestra inicial de 30, con lo cual se obtuvo los valores de la media y la desviación estándar para cada tipo de cliente. Adicionalmente, se consideró un error de muestreo aceptable del 5% de la media y un nivel de confianza del 95%, tras lo cual se empleó la

fórmula (1), obteniéndose así el tamaño de muestra óptimo para cada tipo de cliente.

Posteriormente se corrió el modelo y se obtuvieron los datos que se muestran en las Tablas 14 y 15 con respecto al número de documentos entregados diariamente para cada tipo de cliente.

Tabla 14. Resultados estadísticos de la simulación del modelo actual – Parte I

Tipo de cliente	Promedio (\bar{X})	Desviación estándar (s)	Tamaño de muestra (n)	Unidades
Cliente 12	8.17	3.04	192	Documentos
Cliente 13	6.98	2.42	213	Documentos
Cliente 14	7.80	3.09	424	Documentos
Cliente 15	6.83	2.57	256	Documentos
Cliente 16	6.65	2.49	187	Documentos
Cliente 17	6.26	2.42	250	Documentos
Cliente 18	9.36	3.50	273	Documentos
Cliente 19	8.39	2.98	177	Documentos
Cliente 21	4.93	1.93	279	Documentos
Cliente 23	5.26	2.11	300	Documentos
Cliente 24	5.68	2.03	236	Documentos
Cliente 25	7.00	2.53	226	Documentos
Cliente 26	5.86	2.20	269	Documentos
Cliente 27	5.58	2.18	262	Documentos
Cliente 28	5.11	2.17	294	Documentos
Cliente 29	5.18	2.01	240	Documentos
Cliente 31	4.26	1.66	293	Documentos
Cliente 32	4.16	1.52	236	Documentos
Cliente 34	10.28	3.65	187	Documentos
Cliente 35	7.93	3.01	211	Documentos
Cliente 36	8.85	3.12	205	Documentos
Cliente 37	6.29	2.24	212	Documentos
Cliente 38	4.80	1.68	116	Documentos
Cliente 39	5.72	2.03	145	Documentos
Cliente 41	5.19	2.14	260	Documentos
Cliente 42	8.26	3.14	297	Documentos
Cliente 43	9.78	3.76	288	Documentos
Cliente 45	20.41	4.16	74	Documentos
Cliente 46	10.56	3.81	169	Documentos
Cliente 47	13.44	3.67	114	Documentos
Cliente 48	4.69	1.83	191	Documentos
Cliente 49	10.42	3.79	185	Documentos
Cliente 51	5.10	1.86	177	Documentos
Cliente 52	6.61	2.64	277	Documentos
Cliente 53	8.19	2.58	123	Documentos
Cliente 54	17.01	4.38	135	Documentos

Elaboración propia

Tabla 15. Resultados estadísticos de la simulación del modelo actual – Parte II

Tipo de cliente	Promedio (\bar{X})	Desviación estándar (s)	Tamaño de muestra (n)	Unidades
Cliente 56	11.22	3.66	140	Documentos
Cliente 57	8.71	2.97	93	Documentos
Cliente 58	5.56	2.01	220	Documentos
Cliente 59	6.99	2.58	144	Documentos
Cliente 61	3.96	1.58	366	Documentos
Cliente 62	7.58	2.70	184	Documentos
Cliente 63	9.78	3.70	255	Documentos
Cliente 64	11.90	3.46	157	Documentos
Cliente 65	8.00	3.17	216	Documentos
Cliente 67	7.34	2.82	285	Documentos
Cliente 68	4.13	1.39	309	Documentos
Cliente 69	8.47	3.08	218	Documentos
Cliente 71	4.92	1.94	195	Documentos
Cliente 72	9.51	3.73	169	Documentos
Cliente 73	6.18	2.45	259	Documentos
Cliente 74	13.84	3.19	91	Documentos
Cliente 75	9.85	3.37	171	Documentos
Cliente 76	6.88	2.76	221	Documentos
Cliente 78	11.37	3.88	196	Documentos
Cliente 79	6.39	2.57	199	Documentos
Cliente 81	4.63	1.48	135	Documentos
Cliente 82	4.41	1.74	174	Documentos
Cliente 83	3.24	1.32	287	Documentos
Cliente 84	8.27	2.32	44	Documentos
Cliente 85	8.16	1.96	131	Documentos
Cliente 86	4.15	1.44	154	Documentos
Cliente 87	10.74	3.71	268	Documentos
Cliente 89	5.07	1.93	194	Documentos
Cliente 91	3.99	1.60	392	Documentos
Cliente 92	4.82	1.79	206	Documentos
Cliente 93	1.37	0.56	304	Documentos
Cliente 94	7.52	2.90	181	Documentos
Cliente 95	6.64	2.51	300	Documentos
Cliente 96	7.17	2.56	186	Documentos
Cliente 97	9.58	3.35	244	Documentos
Cliente 98	8.25	2.95	179	Documentos

Elaboración propia

Para validar si los resultados del modelo corresponden a los datos reales recogidos en la empresa, se crearon intervalos de confianza para el número promedio de documentos entregados diariamente de cada tipo de cliente. Para la construcción de los intervalos de confianza se consideraron los datos mostrados

en las Tablas 14 y 15, y un nivel de confianza del 95%, se utilizó la fórmula (2) y se obtuvieron los intervalos de confianza mostrados en la Tabla 16.

Tabla 16. Intervalos de confianza – Simulación del modelo actual

Tipo de cliente	Límite inferior	Límite superior	Tipo de cliente	Límite inferior	Límite superior
Cliente 12	7.74	8.60	Cliente 56	10.61	11.83
Cliente 13	6.65	7.30	Cliente 57	8.10	9.32
Cliente 14	7.51	8.10	Cliente 58	5.30	5.83
Cliente 15	6.52	7.15	Cliente 59	6.57	7.42
Cliente 16	6.29	7.00	Cliente 61	3.80	4.12
Cliente 17	5.96	6.56	Cliente 62	7.19	7.97
Cliente 18	8.95	9.78	Cliente 63	9.32	10.23
Cliente 19	7.95	8.83	Cliente 64	11.36	12.45
Cliente 21	4.70	5.15	Cliente 65	7.57	8.42
Cliente 23	5.02	5.50	Cliente 67	7.01	7.67
Cliente 24	5.42	5.94	Cliente 68	3.97	4.28
Cliente 25	6.67	7.33	Cliente 69	8.06	8.88
Cliente 26	5.60	6.12	Cliente 71	4.65	5.20
Cliente 27	5.32	5.84	Cliente 72	8.95	10.08
Cliente 28	4.86	5.35	Cliente 73	5.88	6.48
Cliente 29	4.92	5.43	Cliente 74	13.17	14.50
Cliente 31	4.07	4.45	Cliente 75	9.35	10.36
Cliente 32	3.97	4.35	Cliente 76	6.51	7.24
Cliente 34	9.75	10.80	Cliente 78	10.83	11.92
Cliente 35	7.53	8.34	Cliente 79	6.03	6.74
Cliente 36	8.42	9.28	Cliente 81	4.38	4.88
Cliente 37	5.99	6.59	Cliente 82	4.16	4.67
Cliente 38	4.49	5.11	Cliente 83	3.09	3.39
Cliente 39	5.39	6.05	Cliente 84	7.57	8.98
Cliente 41	4.93	5.45	Cliente 85	7.82	8.50
Cliente 42	7.90	8.61	Cliente 86	3.92	4.38
Cliente 43	9.34	10.21	Cliente 87	10.29	11.18
Cliente 45	19.44	21.37	Cliente 89	4.80	5.34
Cliente 46	9.98	11.13	Cliente 91	3.83	4.15
Cliente 47	12.76	14.12	Cliente 92	4.58	5.07
Cliente 48	4.43	4.94	Cliente 93	1.31	1.43
Cliente 49	9.87	10.96	Cliente 94	7.10	7.95
Cliente 51	4.83	5.38	Cliente 95	6.35	6.92
Cliente 52	6.30	6.92	Cliente 96	6.80	7.54
Cliente 53	7.73	8.64	Cliente 97	9.16	10.00
Cliente 54	16.28	17.75	Cliente 98	7.81	8.68

Elaboración propia

Posteriormente, para realizar la validación del modelo fue necesario obtener un valor promedio real del número de documentos entregados diariamente de cada tipo de cliente. La Tabla 17 muestra dichos valores promedios de la data recogida en la empresa.

**Tabla 17. Cantidad de documentos entregados diariamente -
Datos obtenidos de la empresa**

Tipo de cliente	Valor promedio	Tipo de cliente	Valor promedio
Cliente 12	8.00	Cliente 56	11.00
Cliente 13	6.67	Cliente 57	8.67
Cliente 14	7.67	Cliente 58	5.67
Cliente 15	7.00	Cliente 59	7.00
Cliente 16	6.67	Cliente 61	4.00
Cliente 17	6.33	Cliente 62	7.33
Cliente 18	9.33	Cliente 63	9.67
Cliente 19	8.00	Cliente 64	12.00
Cliente 21	5.00	Cliente 65	7.67
Cliente 23	5.33	Cliente 67	7.33
Cliente 24	5.67	Cliente 68	4.00
Cliente 25	7.00	Cliente 69	8.33
Cliente 26	5.67	Cliente 71	4.67
Cliente 27	5.33	Cliente 72	9.67
Cliente 28	5.00	Cliente 73	6.00
Cliente 29	5.00	Cliente 74	14.00
Cliente 31	4.33	Cliente 75	10.00
Cliente 32	4.33	Cliente 76	6.67
Cliente 34	10.00	Cliente 78	11.33
Cliente 35	8.00	Cliente 79	6.33
Cliente 36	9.00	Cliente 81	4.67
Cliente 37	6.33	Cliente 82	4.67
Cliente 38	4.67	Cliente 83	3.33
Cliente 39	6.00	Cliente 84	8.00
Cliente 41	5.33	Cliente 85	8.00
Cliente 42	8.33	Cliente 86	4.33
Cliente 43	10.00	Cliente 87	11.00
Cliente 45	20.33	Cliente 89	5.00
Cliente 46	10.00	Cliente 91	4.00
Cliente 47	13.67	Cliente 92	5.00
Cliente 48	4.67	Cliente 93	1.33
Cliente 49	10.67	Cliente 94	7.67
Cliente 51	5.00	Cliente 95	6.67
Cliente 52	6.67	Cliente 96	7.00
Cliente 53	8.00	Cliente 97	9.33
Cliente 54	16.33	Cliente 98	8.00

Elaboración propia

Una vez obtenidos los intervalos de confianza para los resultados de la simulación, así como los valores reales promedios, se evaluó si dichos valores, mostrados previamente en la Tabla 17, se encontraban dentro del intervalo de confianza establecido para cada tipo de cliente respectivamente. Las Tablas 18 y 19 muestran los resultados de dicha evaluación.

Tabla 18. Validación del modelo actual – Parte I

Tipo de cliente	Valor promedio real	Límite inferior	Límite superior	¿Pertenece al intervalo?
Cliente 12	8.00	7.74	8.60	Sí
Cliente 13	6.67	6.65	7.30	Sí
Cliente 14	7.67	7.51	8.10	Sí
Cliente 15	7.00	6.52	7.15	Sí
Cliente 16	6.67	6.29	7.00	Sí
Cliente 17	6.33	5.96	6.56	Sí
Cliente 18	9.33	8.95	9.78	Sí
Cliente 19	8.00	7.95	8.83	Sí
Cliente 21	5.00	4.70	5.15	Sí
Cliente 23	5.33	5.02	5.50	Sí
Cliente 24	5.67	5.42	5.94	Sí
Cliente 25	7.00	6.67	7.33	Sí
Cliente 26	5.67	5.60	6.12	Sí
Cliente 27	5.33	5.32	5.84	Sí
Cliente 28	5.00	4.86	5.35	Sí
Cliente 29	5.00	4.92	5.43	Sí
Cliente 31	4.33	4.07	4.45	Sí
Cliente 32	4.33	3.97	4.35	Sí
Cliente 34	10.00	9.75	10.80	Sí
Cliente 35	8.00	7.53	8.34	Sí
Cliente 36	9.00	8.42	9.28	Sí
Cliente 37	6.33	5.99	6.59	Sí
Cliente 38	4.67	4.49	5.11	Sí
Cliente 39	6.00	5.39	6.05	Sí
Cliente 41	5.33	4.93	5.45	Sí
Cliente 42	8.33	7.90	8.61	Sí
Cliente 43	10.00	9.34	10.21	Sí
Cliente 45	20.33	19.44	21.37	Sí
Cliente 46	10.00	9.98	11.13	Sí
Cliente 47	13.67	12.76	14.12	Sí
Cliente 48	4.67	4.43	4.94	Sí
Cliente 49	10.67	9.87	10.96	Sí
Cliente 51	5.00	4.83	5.38	Sí
Cliente 52	6.67	6.30	6.92	Sí

Elaboración propia

Tabla 19. Validación del modelo actual – Parte II

Tipo de cliente	Valor promedio real	Límite inferior	Límite superior	¿Pertenece al intervalo?
Cliente 53	8.00	7.73	8.64	Sí
Cliente 54	16.33	16.28	17.75	Sí
Cliente 56	11.00	10.61	11.83	Sí
Cliente 57	8.67	8.10	9.32	Sí
Cliente 58	5.67	5.30	5.83	Sí
Cliente 59	7.00	6.57	7.42	Sí
Cliente 61	4.00	3.80	4.12	Sí
Cliente 62	7.33	7.19	7.97	Sí
Cliente 63	9.67	9.32	10.23	Sí
Cliente 64	12.00	11.36	12.45	Sí
Cliente 65	7.67	7.57	8.42	Sí
Cliente 67	7.33	7.01	7.67	Sí
Cliente 68	4.00	3.97	4.28	Sí
Cliente 69	8.33	8.06	8.88	Sí
Cliente 71	4.67	4.65	5.20	Sí
Cliente 72	9.67	8.95	10.08	Sí
Cliente 73	6.00	5.88	6.48	Sí
Cliente 74	14.00	13.17	14.50	Sí
Cliente 75	10.00	9.35	10.36	Sí
Cliente 76	6.67	6.51	7.24	Sí
Cliente 78	11.33	10.83	11.92	Sí
Cliente 79	6.33	6.03	6.74	Sí
Cliente 81	4.67	4.38	4.88	Sí
Cliente 82	4.67	4.16	4.67	Sí
Cliente 83	3.33	3.09	3.39	Sí
Cliente 84	8.00	7.57	8.98	Sí
Cliente 85	8.00	7.82	8.50	Sí
Cliente 86	4.33	3.92	4.38	Sí
Cliente 87	11.00	10.29	11.18	Sí
Cliente 89	5.00	4.80	5.34	Sí
Cliente 91	4.00	3.83	4.15	Sí
Cliente 92	5.00	4.58	5.07	Sí
Cliente 93	1.33	1.31	1.43	Sí
Cliente 94	7.67	7.10	7.95	Sí
Cliente 95	6.67	6.35	6.92	Sí
Cliente 96	7.00	6.80	7.54	Sí
Cliente 97	9.33	9.16	10.00	Sí
Cliente 98	8.00	7.81	8.68	Sí

Elaboración propia

Como los valores reales promedios recogidos en la empresa pertenecen a los intervalos de confianza contruidos para los resultados de la simulación del modelo actual, se puede concluir que el modelo construido refleja correctamente el funcionamiento actual del área de mensajería interna.

3.1.2 Simulación del modelo propuesto en Arena

Tras observar la distribución de los edificios en el predio central de la empresa y analizar cómo se llevaba a cabo el envío de documentos entre ellos, se planteó una propuesta con el propósito de reducir los costos a través de la reducción del personal contratado para las labores de mensajería interna, y que a la vez es capaz de satisfacer las necesidades de envío de documentación en la empresa.

Para tal fin, se diseñó una ruta que debía ser seguida por el mensajero desde el recojo hasta la entrega de documentos. El diseño de dicha ruta se realizó teniendo en cuenta la cercanía existente entre los edificios del predio central, por lo que la ruta a seguir por el único mensajero del modelo propuesto, debía ser la siguiente: Galletera (edificio 1), Molino Faucett (edificio 2), Marketing (edificio 3), Edificio Central (edificio 5), Ventas (edificio 6), Copsa (edificio 7), Acopio (edificio 8), CDC (edificio 9) y finalmente el edificio de Mensajería central (edificio 4). Cabe precisar que al finalizar el recorrido con el edificio 4, el mensajero tendría que volver a repetir la misma ruta empezando por el edificio 1.

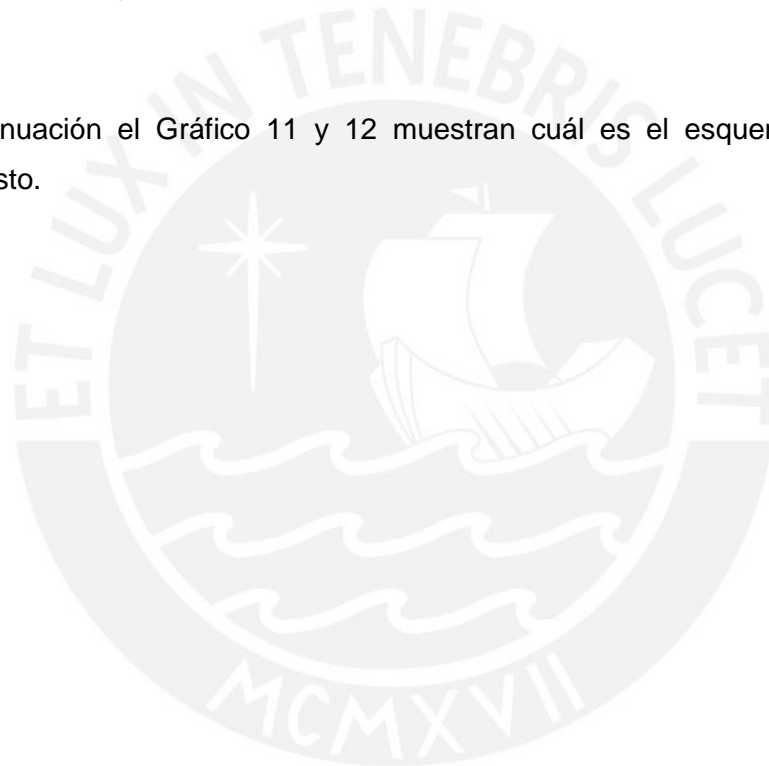
Al realizar el recorrido por los edificios, el mensajero debía recoger y entregar los documentos en cada uno de éstos. Adicionalmente, tal como ya se ha indicado en el acápite 2.1.1.1, cabe señalar que el edificio de mensajería central concentraría los documentos que están destinados a puntos que se encuentran fuera del predio central (mensajería externa), así como los documentos que se originan en puntos externos a la planta y que tienen que ser entregados a cualquiera de los edificios considerados dentro de la ruta.

Para la simulación de éste modelo se consideró la misma distribución y el mismo parámetro usado en la simulación del modelo actual para el tiempo entre llegadas

de los clientes (documentos), ya que esto representa la necesidad a satisfacer por el modelo propuesto. Así también, se ha considerado el mismo horario de trabajo para los mensajeros.

En cuanto al tiempo de servicio, este modelo se construyó bajo un enfoque diferente, en donde el tiempo de servicio está representado únicamente por el tiempo que ocupa el mensajero en dejar los grupos de documentos en la bandeja del edificio correspondiente, el cual es cinco minutos. Cabe señalar que el tiempo ocupado por el mensajero en trasladarse de un edificio a otro se ha representado mediante el tiempo de traslado entre estaciones.

A continuación el Gráfico 11 y 12 muestran cuál es el esquema de atención propuesto.



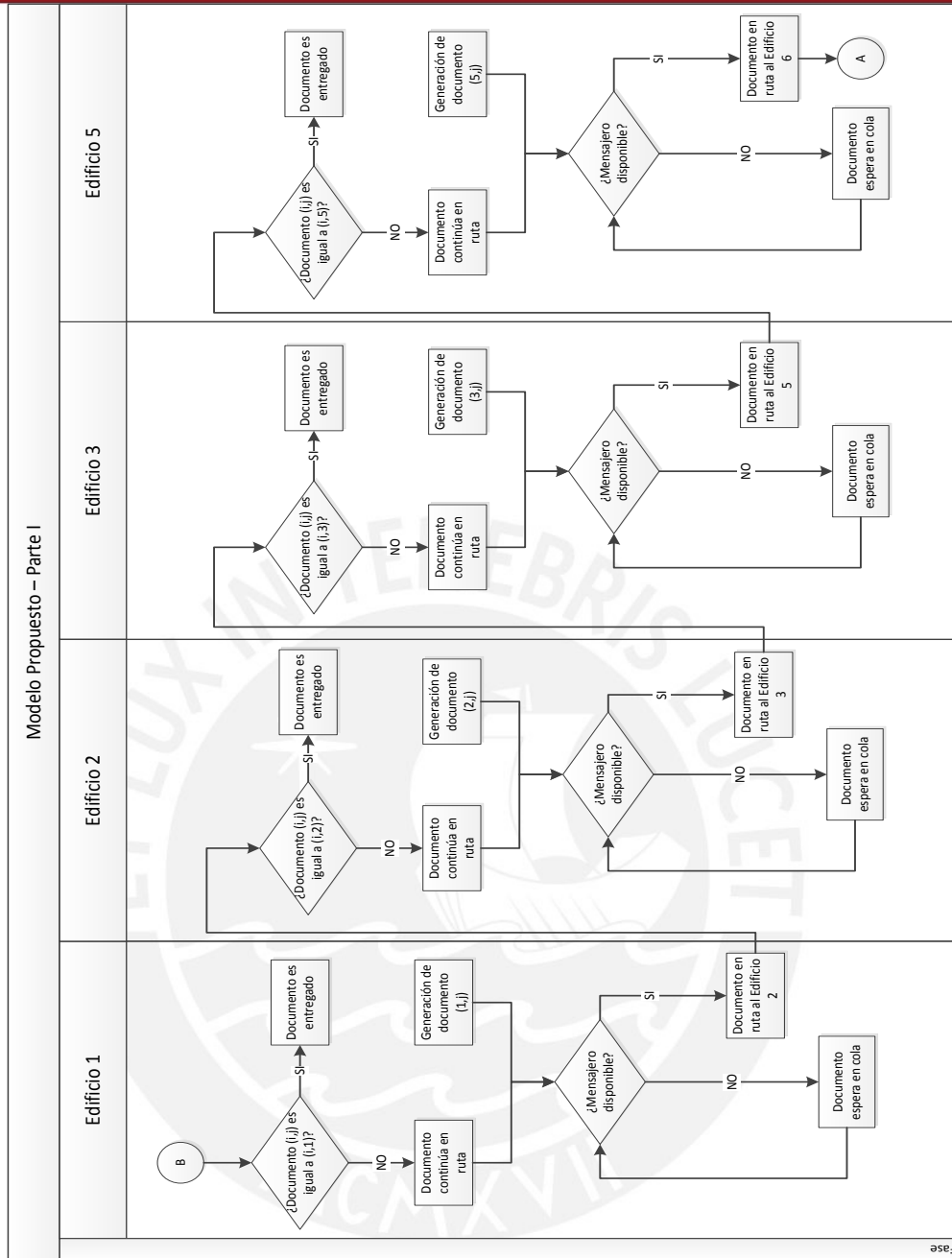


Gráfico 11. Esquema de atención propuesto de mensajería interna – Parte I
Elaboración propia

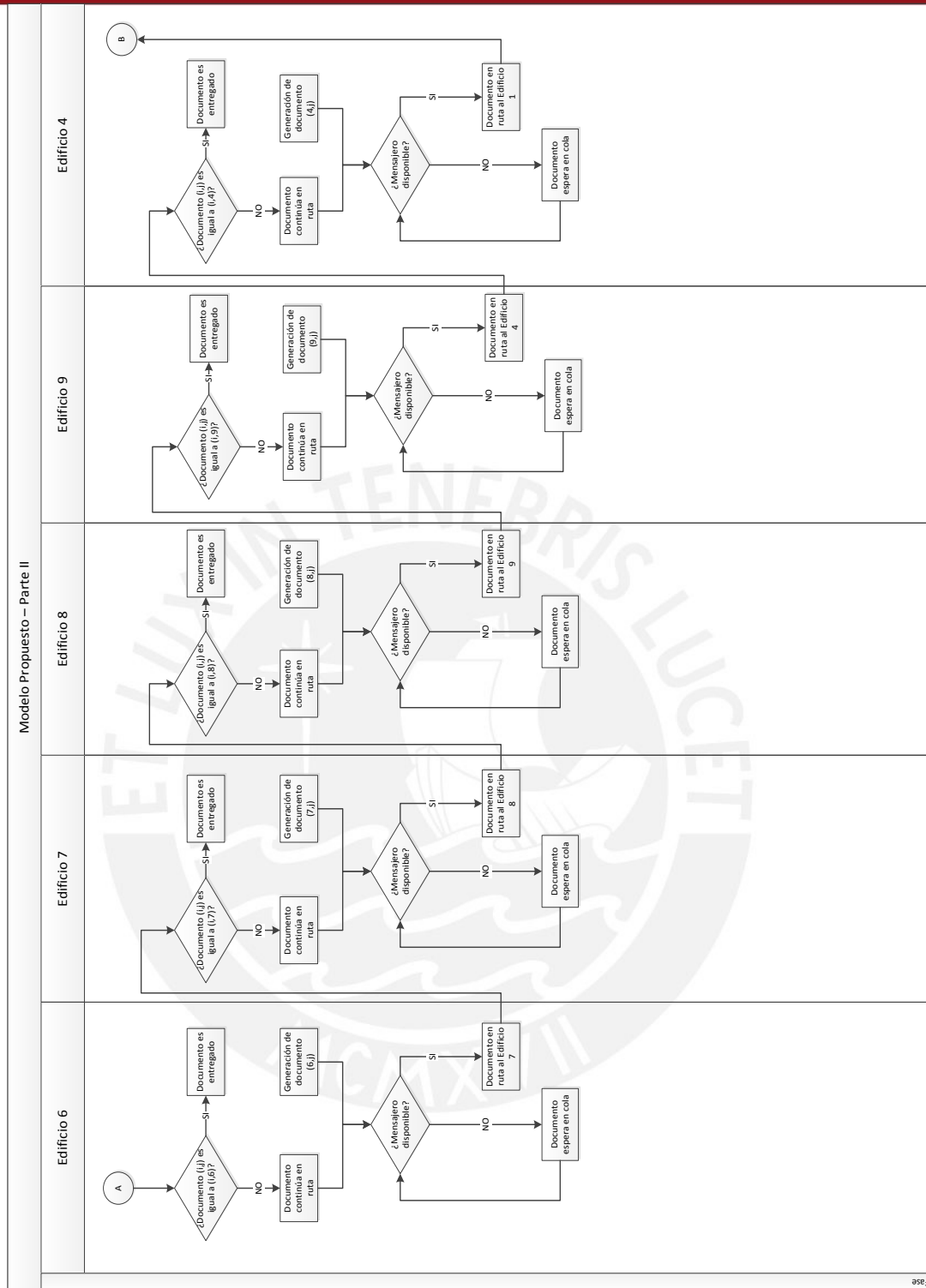


Gráfico 12. Esquema de atención propuesto de mensajería interna – Parte II
Elaboración propia

3.1.2.1 Componentes del modelo

A continuación se describen los bloques usados en la simulación del modelo propuesto.

- a) **Entidades:** al igual que en la simulación del modelo actual, las entidades del modelo propuesto son los documentos que requieren ser trasladados de un edificio a otro. Asimismo, se trabajó también con las distribuciones y parámetros mostrados en las Tablas 10 y 11 para el tiempo entre llegadas de cada tipo de cliente o entidad.

Por otro lado, para efectos de la simulación, se consideró como una entidad adicional al único mensajero de este modelo propuesto, quien debía realizar el recorrido por todos los edificios del predio central. Como se muestra en el Gráfico 13, al bloque CREATE relacionado a dicha entidad se le asignó el siguiente valor en el campo "Interval".

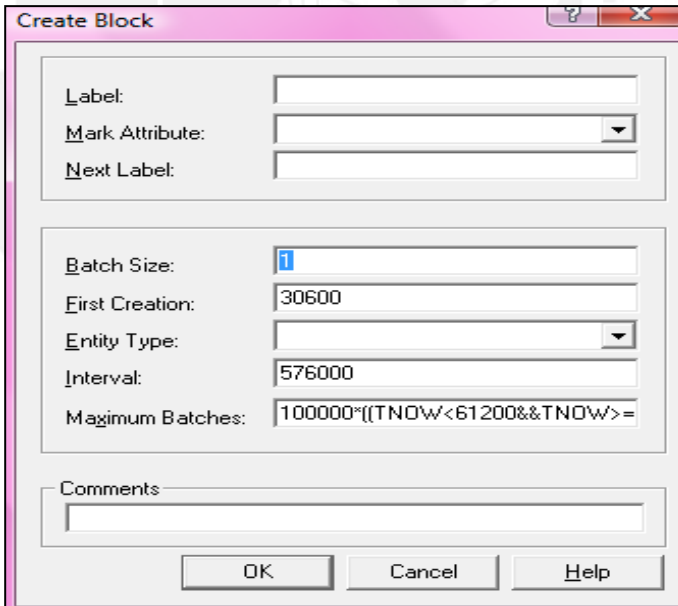


Gráfico 13. Generación de la entidad "Mensajero"
Elaboración propia

Este valor asignado es un número mayor a la duración de la réplica, de modo tal que se asegura que durante la simulación sólo se generará una sola entidad "Mensajero".

- b) Atributos:** como en la simulación de la situación actual, se utilizó el atributo “TIPO CLIENTE” que permite identificar el edificio de origen y edificio de destino del documento generado. Adicionalmente, puesto que en este modelo se puede dar la agrupación de documentos generados hasta la llegada del mensajero a cierto edificio, se utilizó el atributo “TIPO PAQUETE”, el cual permite identificar el edificio de origen y edificio de destino del grupo de documentos (paquete).⁶ Por otro lado, se utilizó el atributo “MENSAJERO” para poder diferenciar a dicha entidad que debía realizar el recorrido por todos los edificios considerados dentro del predio central.
- c) Recursos:** puesto que en el modelo propuesto el mensajero ha sido considerado como una entidad, el recurso utilizado en cada edificio es estacionario y la duración del tiempo de servicio está dado por el tiempo que ocupa el mensajero en dejar los grupos de documentos en la bandeja del edificio correspondiente.
- d) Estaciones:** las estaciones asignan un espacio en el cual se encuentran ubicados los recursos para que las entidades puedan dirigirse hacia ellos. En el modelo se han considerado nueve estaciones, cada una de las cuales representa a un edificio del predio central de la empresa.
- e) Colas:** en el modelo se ha definido una cola en cada edificio. Estas colas representan el tiempo de espera de los documentos que el mensajero lleva consigo a lo largo de su recorrido, hasta que llegan finalmente a su edificio de destino.
- f) Contadores:** permiten llevar un conteo de aquellas entidades que cumplen con cierta característica específica. En el modelo se han definido tantos contadores como tipos de clientes existen, los cuales permiten contabilizar la cantidad de documentos entregados diariamente por cada tipo de cliente.
- Además, se ha definido un contador por cada estación, los cuales llevan el conteo de la cantidad de “paquetes” entregados en cada edificio.
- g) Indicadores de desempeño:** para medir la eficiencia del modelo propuesto, se utilizó el bloque “TALLY” que permitió cuantificar el tiempo total de

⁶ En el acápite 3.1.2: entiéndase por “paquete” a un conjunto de documentos originados en un edificio del predio central y que tiene como destino otro edificio de la planta central de la empresa.

permanencia en el sistema de cada documento; es decir, desde que éste era generado hasta su entrega.

- h) Variables:** en el modelo propuesto se utilizaron dos tipos de variables. La variable “SOBRE” fue utilizada como artificio puesto que sirvió para poder agrupar luego, cierta cantidad de documentos que se iban acumulando hasta la llegada del mensajero al edificio respectivo. Por otro lado, la variable “PAQUETE” se utilizó también como artificio para luego poder agrupar todos los paquetes que debían ser entregados en un mismo edificio, de modo tal que el tiempo de servicio (tiempo ocupado por el mensajero en dejar los paquetes en la bandeja de cada edificio) en cada estación fuese único e independiente de la cantidad de paquetes a entregar en dicho edificio.

3.1.2.2 Descripción del modelo

En el modelo propuesto, el esquema de simulación del funcionamiento de cada edificio es el mismo, es decir, se replicó la utilización de los bloques en cada uno de los nueve edificios del predio central.

A continuación se describirá la simulación del primer edificio, que como ya se mencionó antes, es el inicio de la ruta a seguir por el mensajero.

Primero, se colocó un bloque CREATE que sirve para generar a la entidad que representaría al mensajero y luego, se colocó un bloque ASSIGN para asignarle a dicha entidad, el atributo “MENSAJERO”.

Se colocó a continuación un bloque STATION, al cual lo llamamos “EDIFICIO 1” y al que lo unimos con un bloque BRANCH en donde se realiza la diferenciación entre los documentos que deben ser entregados en este edificio y los documentos que deben seguir el recorrido del mensajero hasta llegar a su respectivo edificio de destino.

A continuación la Tabla 20 muestra los campos que se llenaron para los bloques CREATE, ASSIGN, STATION y BRANCH.

Tabla 20. Campos de los bloques CREATE, ASSIGN, STATION y BRANCH para el edificio 1

Bloque	Campo / Atributo	Valor
CREATE	Batch Size	1
	First Creation	A partir de qué segundo la entidad "mensajero" empezará su recorrido (según el horario de trabajo de la empresa).
	Interval	576000
	Maximun Batches	Limitación de la generación de entidades según el horario de trabajo de los empleados, representada por la expresión: 100000*((TNOW<61200&&TNOW>=50400) (TNOW<46800))
ASSIGN	Mensajero	1
STATION	Beginning station ID	Edificio 1
BRANCH	Branch Type	If
	Condition	MENSAJERO==1 TIPO PAQUETE==21 TIPO PAQUETE==31 TIPO PAQUETE==41 TIPO PAQUETE==51 TIPO PAQUETE==61 TIPO PAQUETE==71 TIPO PAQUETE==81 TIPO PAQUETE==91
	Branch Type	Else

Elaboración propia

Al BRANCH se le unió con un bloque QUEUE, el cual representa la espera de los documentos que no tienen como destino el edificio 1. A continuación del QUEUE se colocó un bloque WAIT, el cual hace posible que los documentos se mantengan en espera hasta que el mensajero se desocupe y pueda continuar su recorrido.

El Gráfico 14 muestra los campos que se llenaron para cada bloque WAIT.

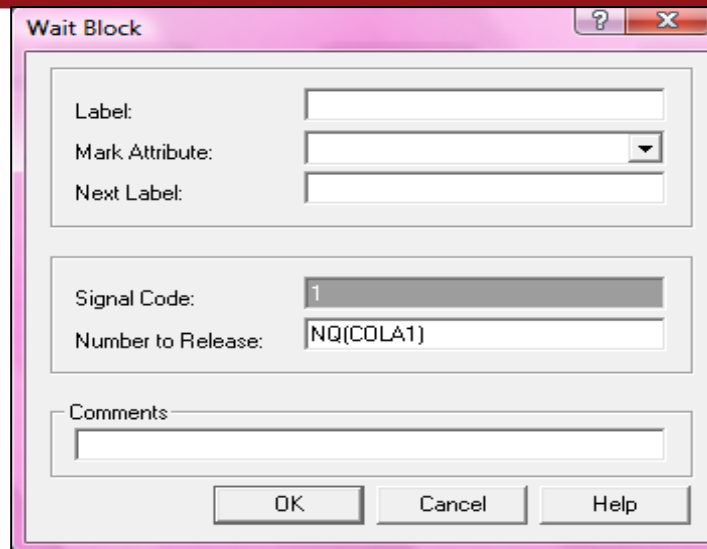


Gráfico 14. Liberación de documentos en espera
Elaboración propia

Como se observa en el gráfico mostrado, para que se liberen los documentos retenidos en el QUEUE, será necesario que se emita la señal 1, la cual está vinculada al tiempo en el cual se desocupa el mensajero.

Por otro lado, el BRANCH fue unido al bloque COUNT, el cual realiza el conteo de los paquetes a entregarse en este primer edificio. El Gráfico 15 muestra los bloques empleados en esta primera parte del modelo.

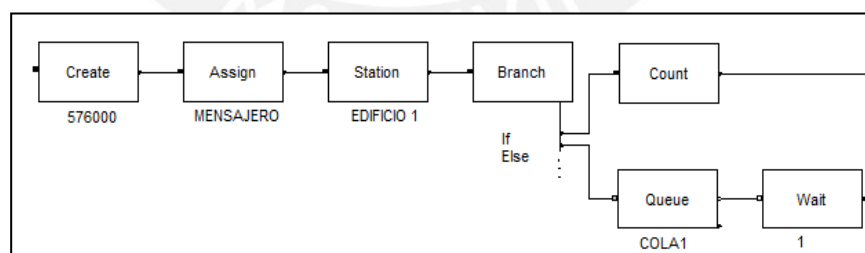


Gráfico 15. Modelo propuesto – Primera parte
Elaboración propia

El contador de paquetes se unió con el bloque ASSIGN, el cual permite definir la variable “PAQUETE” cuyo valor se va incrementando en una unidad cada vez que pasa un paquete por dicho bloque. Como ya se ha explicado antes, este valor de la variable permite realizar después el agrupamiento de todos los paquetes a entregarse en este primer edificio. Luego del ASSIGN, se colocó a modo de artificio un bloque DELAY con una duración muy pequeña, ello debido a que se necesitaba un pequeño periodo de desfase entre el ASSIGN y el bloque GROUP, puesto que la cantidad a agruparse en el GROUP está dado por la variable “PAQUETE”.

A continuación, al bloque GROUP se le unió con otro ASSIGN, el cual hace posible asignarle el valor cero a la variable “PAQUETE”. Ello servirá para que posteriormente el valor de dicha variable se reinicie y se pueda llevar a cabo correctamente el agrupamiento de los paquetes. La Tabla 21 muestra a continuación los campos que se llenaron para los bloques ASSIGN, DELAY y GROUP.

Tabla 21. Campos de los bloques ASSIGN, DELAY y GROUP del paquete 1

Bloque	Campo / Variable	Valor
ASSIGN	PAQUETE(1)	PAQUETE(1)+1
DELAY	Duration	0.0000001
GROUP	Group Type	Temporary
	Quantity to group	PAQUETE(1)
ASSIGN	PAQUETE(1)	0

Elaboración propia

Una vez agrupados todos los paquetes a entregarse en el primer edificio, se colocó un bloque SEIZE que permite asignar el recurso “SERV EDIF 1” que como ya se ha mencionado antes, es estacionario. Luego, se colocó un bloque DELAY cuya duración está dada por el tiempo empleado por el mensajero en dejar los paquetes en la bandeja de salida del edificio. Para finalizar con el servicio, se colocó un RELEASE que permite liberar el recurso “SERV EDIF 1”. El Gráfico 16 muestra los bloques descritos en esta segunda parte del modelo.

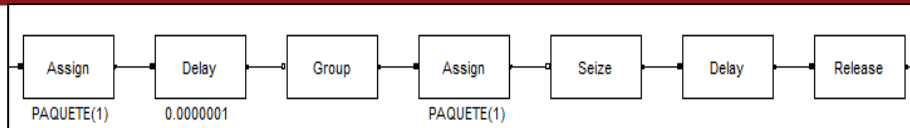


Gráfico 16. Modelo propuesto – Segunda parte
Elaboración propia

El bloque RELEASE se unió con un SPLIT, el cual permite desagrupar los paquetes y la entidad “mensajero” para luego llevar a cabo la diferenciación entre las entidades que culminan en esta estación su recorrido (paquetes) y la entidad que debe continuar con la ruta establecida a través de las demás estaciones del modelo (mensajero).

Para dicha diferenciación se usó un bloque BRANCH con las condiciones mostradas en la Tabla 22.

Tabla 22. Condiciones del bloque BRANCH – Tercera parte del modelo

Bloque	Campo	Valor
BRANCH	Branch Type	If
	Condition	TIPO PAQUETE==21 TIPO PAQUETE==31 TIPO PAQUETE==41 TIPO PAQUETE==51 TIPO PAQUETE==61 TIPO PAQUETE==71 TIPO PAQUETE==81 TIPO PAQUETE==91
	Branch Type	Else

Elaboración propia

Luego el bloque BRANCH se unió con un bloque TALLY para poder registrar el tiempo de permanencia de un documento en el sistema. La Tabla 23 muestra los campos que se llenaron para el bloque TALLY.

Tabla 23. Campos del bloque TALLY

Bloque	Campo	Valor
TALLY	Tally ID	T entrega
	Value	tnow – T inicio

Elaboración propia

Posteriormente se conectó el bloque TALLY con un bloque DISPOSE que representa la culminación del recorrido de los paquetes. Por otro lado se unió el bloque BRANCH con un SIGNAL, el cual emite la señal 1 una vez que el mensajero se encuentra desocupado y listo para continuar el recorrido. A continuación el Gráfico 17 muestra la tercera parte del modelo propuesto.

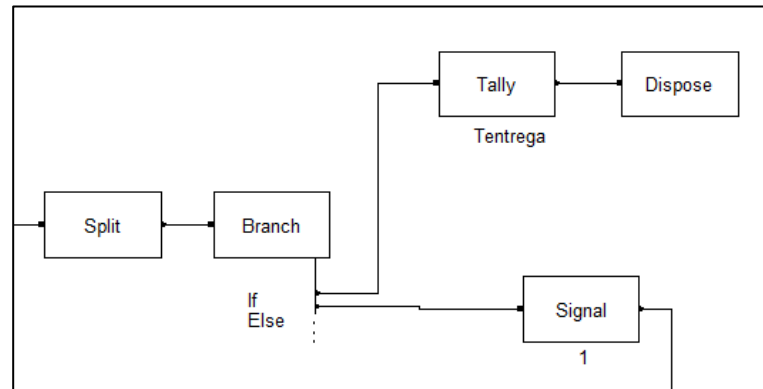


Gráfico 17. Modelo propuesto – Tercera parte
Elaboración propia

Por otro lado, al igual que en la simulación de la situación actual se consideraron las distribuciones y los parámetros mostrados en las Tablas 10 y 11 para el tiempo entre llegadas de cada tipo de cliente (documentos). De igual manera, se usaron bloques CREATE para representar la generación de los documentos que se originan en este primer edificio, bloques ASSIGN para asignarle a cada entidad el atributo “TIPO CLIENTE” y bloques COUNT para realizar el conteo de los documentos entregados diariamente.

A los bloques COUNT se unió un BRANCH para realizar la diferenciación de cada tipo de cliente y poder realizar luego la agrupación de dichos documentos y formar los paquetes que deben ser llevados por el mensajero hacia los demás edificios. En la Tabla 24 se muestra las condiciones usadas en el bloque BRANCH.

Tabla 24. Condiciones del bloque BRANCH – Cuarta parte del modelo

Bloque	Campo	Valor
BRANCH	Branch Type	If
	Condition	TIPO CLIENTE==12
	Branch Type	If
	Condition	TIPO CLIENTE==13
	Branch Type	If
	Condition	TIPO CLIENTE==14
	Branch Type	If
	Condition	TIPO CLIENTE==15
	Branch Type	If
	Condition	TIPO CLIENTE==16
	Branch Type	If
	Condition	TIPO CLIENTE==17
	Branch Type	If
	Condition	TIPO CLIENTE==18
	Branch Type	If
	Condition	TIPO CLIENTE==19

Elaboración propia

A continuación el Gráfico 18 muestra los bloques usados en la cuarta parte del modelo.

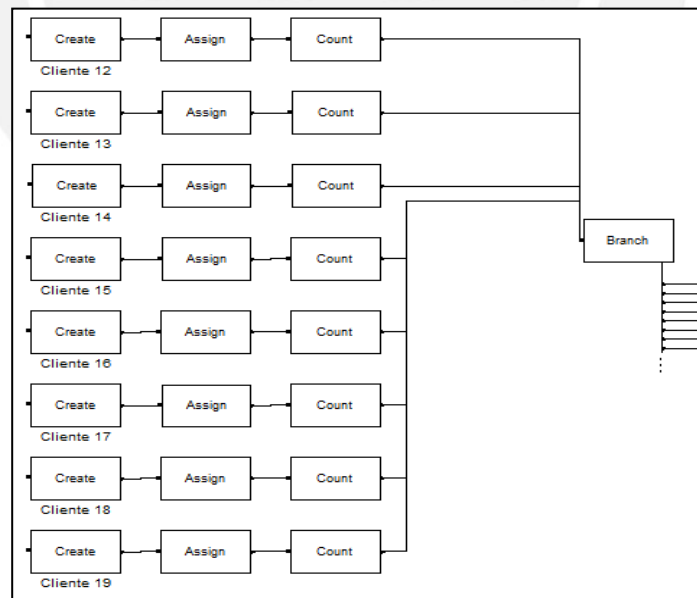


Gráfico 18. Modelo propuesto – Cuarta parte
Elaboración propia

Después del bloque BRANCH, se colocaron bloques ASSIGN que permitieron definir la variable “SOBRE” cuyo valor se va incrementando en una unidad cada vez que pasa un documento por dichos bloques. Como ya se ha explicado antes, este valor de la variable permite realizar después el agrupamiento de todos los documentos generados hasta el momento en el que el mensajero se desocupa y continúa con su ruta.

Los bloques ASSIGN se unieron con bloques WAIT que permiten retener los documentos hasta que se emite la señal 1. Luego, se colocaron bloques GROUP, que como ya se ha mencionado líneas arriba, representa el agrupamiento de los documentos. A continuación, los bloques GROUP se unieron con bloques ASSIGN, los cuales hacen posible asignarle el valor cero a la variable “SOBRE”. Ello servirá para que posteriormente el valor de dicha variable se reinicie y se pueda llevar a cabo correctamente el agrupamiento de los documentos.

Para asignarle el atributo “TIPO PAQUETE” a cada grupo de documentos, se utilizaron bloques ASSIGN cuyos campos se llenaron de la forma mostrada en la Tabla 25.

Tabla 25. Campos de los bloques ASSIGN, WAIT y GROUP del sobre (1,j)

Bloque	Campo / Variable / Atributo	Valor
ASSIGN	SOBRE(1,j)	SOBRE(1,j)+1, donde j=2, 3, 4, 5,6, 7,8 ó 9 según el edificio de destino.
WAIT	Signal code	1
	Number to release	SOBRE(1,j)
GROUP	Group Type	Permanent
	Quantity to group	SOBRE(1,j)
ASSIGN	SOBRE(1,j)	0
ASSIGN	Tipo Paquete	1j

Elaboración propia

El Gráfico 19 muestra a continuación los bloques usados en la quinta parte del modelo.

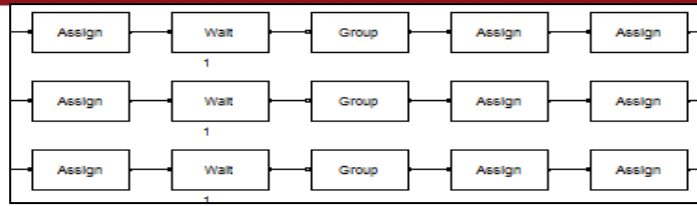


Gráfico 19. Modelo propuesto – Quinta parte
Elaboración propia

Finalmente, se colocó un bloque ROUTE que sirve para indicar el siguiente punto de la ruta a seguir por el mensajero. El Gráfico 20 muestra los campos que se llenaron para dicho bloque.

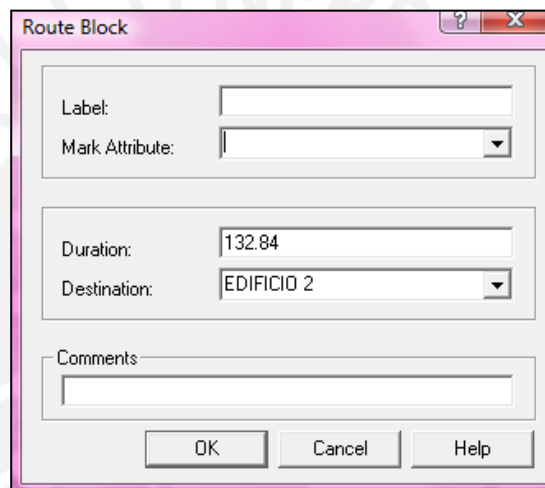


Gráfico 20. Campos del bloque ROUTE
Elaboración propia

Cabe señalar que la duración del bloque ROUTE está relacionada con la distancia existente entre los edificios. Estos datos fueron mostrados previamente en la Tabla 2.

A continuación el Gráfico 21 muestra una vista esquemática del funcionamiento del edificio 1. Dicho esquema se replicó en la simulación de los demás edificios. Para mayor detalle revise el modelo en el Anexo 2.

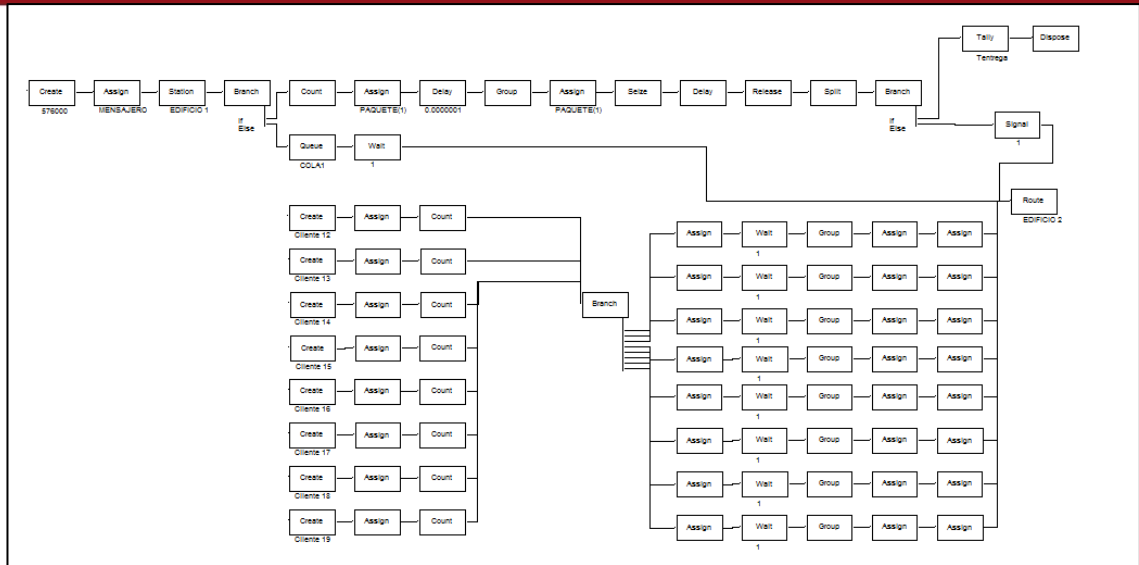


Gráfico 21. Simulación del edificio 1
Elaboración propia

3.1.2.3 Verificación de resultados del modelo

Debido a que el modelo propuesto debía de satisfacer la necesidad actual de envío de documentación de la empresa, la verificación de este modelo se realizó de manera similar a la validación del modelo actual descrito en el acápite 3.1.1.3, en el cual se evaluó si la cantidad promedio real de documentos entregados diariamente de cada tipo de cliente, pertenece al intervalo de confianza construido para los resultados de la simulación.

Considerando lo expuesto en el párrafo anterior, en la verificación de este modelo también fue necesario determinar primero el tamaño de muestra óptimo para cada tipo de cliente. Para la determinación de dicho tamaño de muestra se utilizó un tamaño de muestra inicial de 30 datos y posteriormente se aplicó la fórmula (1) considerando un error de estimación del 5% de la media y un nivel de confianza del 95%.

Luego se corrió el modelo propuesto y se obtuvieron los datos que se muestran a continuación en las Tablas 26 y 27 con respecto al número de documentos entregados diariamente para cada tipo de cliente.

**Tabla 26. Resultados estadísticos de la simulación del modelo propuesto
– Parte I**

Tipo de cliente	Promedio (\bar{X})	Desviación estándar (s)	Tamaño de muestra (n)	Unidades
Cliente 12	7.91	2.77	140	Documentos
Cliente 13	6.62	2.72	309	Documentos
Cliente 14	7.49	2.81	229	Documentos
Cliente 15	6.61	2.59	148	Documentos
Cliente 16	6.90	2.72	226	Documentos
Cliente 17	6.18	2.21	190	Documentos
Cliente 18	9.13	3.69	181	Documentos
Cliente 19	8.45	3.06	166	Documentos
Cliente 21	4.85	1.78	227	Documentos
Cliente 23	5.33	1.96	179	Documentos
Cliente 24	5.64	2.19	276	Documentos
Cliente 25	6.84	2.70	345	Documentos
Cliente 26	5.73	2.34	346	Documentos
Cliente 27	5.54	2.09	248	Documentos
Cliente 28	5.29	2.03	181	Documentos
Cliente 29	5.15	2.02	229	Documentos
Cliente 31	4.30	1.62	201	Documentos
Cliente 32	4.19	1.54	287	Documentos
Cliente 34	10.07	3.26	151	Documentos
Cliente 35	7.97	3.01	201	Documentos
Cliente 36	9.46	3.57	142	Documentos
Cliente 37	6.17	2.35	208	Documentos
Cliente 38	4.71	1.72	169	Documentos
Cliente 39	6.06	2.46	269	Documentos
Cliente 41	5.08	1.88	178	Documentos
Cliente 42	8.52	2.97	136	Documentos
Cliente 43	9.65	3.49	267	Documentos
Cliente 45	19.78	4.74	86	Documentos
Cliente 46	9.88	3.42	220	Documentos
Cliente 47	14.41	4.23	79	Documentos
Cliente 48	4.66	1.89	309	Documentos
Cliente 49	10.62	4.01	228	Documentos
Cliente 51	5.01	1.84	166	Documentos
Cliente 52	6.72	2.62	274	Documentos
Cliente 53	8.42	3.24	187	Documentos
Cliente 54	16.58	4.41	96	Documentos
Cliente 56	11.27	3.80	217	Documentos

Elaboración propia

Tabla 27. Resultados estadísticos de la simulación del modelo propuesto – Parte II

Tipo de cliente	Promedio (\bar{X})	Desviación estándar (s)	Tamaño de muestra (n)	Unidades
Cliente 57	8.88	3.48	208	Documentos
Cliente 58	5.60	2.00	142	Documentos
Cliente 59	6.85	2.68	210	Documentos
Cliente 61	4.00	1.55	230	Documentos
Cliente 62	7.35	2.88	333	Documentos
Cliente 63	9.24	3.33	221	Documentos
Cliente 64	12.23	3.80	133	Documentos
Cliente 65	7.60	2.74	206	Documentos
Cliente 67	7.23	2.79	262	Documentos
Cliente 68	4.13	1.62	246	Documentos
Cliente 69	8.25	2.97	207	Documentos
Cliente 71	4.68	1.68	355	Documentos
Cliente 72	9.38	3.47	267	Documentos
Cliente 73	5.90	2.09	173	Documentos
Cliente 74	14.54	3.70	106	Documentos
Cliente 75	10.03	3.76	141	Documentos
Cliente 76	6.85	2.56	218	Documentos
Cliente 78	11.88	4.16	207	Documentos
Cliente 79	6.19	2.21	253	Documentos
Cliente 81	4.63	1.78	191	Documentos
Cliente 82	4.69	1.71	236	Documentos
Cliente 83	3.20	1.39	206	Documentos
Cliente 84	7.75	2.69	151	Documentos
Cliente 85	7.78	2.93	200	Documentos
Cliente 86	4.30	1.57	151	Documentos
Cliente 87	11.00	3.63	212	Documentos
Cliente 89	5.01	1.97	232	Documentos
Cliente 91	4.07	1.54	157	Documentos
Cliente 92	4.94	1.87	332	Documentos
Cliente 93	1.33	0.50	332	Documentos
Cliente 94	7.93	2.87	293	Documentos
Cliente 95	6.78	2.53	200	Documentos
Cliente 96	6.84	2.59	238	Documentos
Cliente 97	9.61	3.54	234	Documentos
Cliente 98	8.34	3.02	167	Documentos

Elaboración propia

Posteriormente, se procedió a construir los intervalos de confianza, aplicando la fórmula (2), para la cantidad promedio de documentos entregados diariamente de cada tipo de cliente. Para la construcción de dichos intervalos de confianza se

utilizaron los datos mostrados en las Tablas 26 y 27; y un nivel de confianza del 95%. A continuación las Tabla 28 muestra los intervalos de confianza contruidos para los resultados de la simulación del modelo propuesto.

Tabla 28. Intervalos de confianza – Simulación del modelo propuesto

Tipo de cliente	Límite inferior	Límite superior	Tipo de cliente	Límite inferior	Límite superior
Cliente 12	7.45	8.37	Cliente 56	10.77	11.78
Cliente 13	6.31	6.92	Cliente 57	8.40	9.35
Cliente 14	7.12	7.85	Cliente 58	5.27	5.93
Cliente 15	6.19	7.03	Cliente 59	6.49	7.21
Cliente 16	6.54	7.25	Cliente 61	3.80	4.20
Cliente 17	5.87	6.49	Cliente 62	7.04	7.66
Cliente 18	8.59	9.67	Cliente 63	8.80	9.67
Cliente 19	7.99	8.92	Cliente 64	11.58	12.87
Cliente 21	4.62	5.09	Cliente 65	7.22	7.97
Cliente 23	5.04	5.62	Cliente 67	6.90	7.57
Cliente 24	5.38	5.90	Cliente 68	3.92	4.33
Cliente 25	6.55	7.12	Cliente 69	7.85	8.66
Cliente 26	5.48	5.97	Cliente 71	4.51	4.86
Cliente 27	5.28	5.80	Cliente 72	8.96	9.79
Cliente 28	5.00	5.59	Cliente 73	5.58	6.21
Cliente 29	4.89	5.41	Cliente 74	13.82	15.25
Cliente 31	4.07	4.52	Cliente 75	9.41	10.65
Cliente 32	4.01	4.37	Cliente 76	6.51	7.19
Cliente 34	9.55	10.59	Cliente 78	11.31	12.45
Cliente 35	7.55	8.38	Cliente 79	5.91	6.46
Cliente 36	8.87	10.05	Cliente 81	4.38	4.88
Cliente 37	5.85	6.49	Cliente 82	4.48	4.91
Cliente 38	4.45	4.97	Cliente 83	3.01	3.39
Cliente 39	5.77	6.35	Cliente 84	7.33	8.18
Cliente 41	4.80	5.36	Cliente 85	7.37	8.19
Cliente 42	8.02	9.02	Cliente 86	4.05	4.55
Cliente 43	9.23	10.07	Cliente 87	10.51	11.48
Cliente 45	18.76	20.80	Cliente 89	4.76	5.26
Cliente 46	9.42	10.33	Cliente 91	3.83	4.31
Cliente 47	13.46	15.35	Cliente 92	4.74	5.14
Cliente 48	4.45	4.87	Cliente 93	1.28	1.39
Cliente 49	10.10	11.14	Cliente 94	7.60	8.26
Cliente 51	4.73	5.29	Cliente 95	6.42	7.13
Cliente 52	6.40	7.03	Cliente 96	6.52	7.17
Cliente 53	7.95	8.88	Cliente 97	9.16	10.06
Cliente 54	15.69	17.48	Cliente 98	7.88	8.79

Elaboración propia

Finalmente, se evaluó si los valores reales promedios mostrados en la Tabla 17, se encontraban dentro del intervalo de confianza establecido para cada tipo de cliente respectivamente. Las Tablas 29 y 30 muestran los resultados de la evaluación realizada.

Tabla 29. Verificación del modelo propuesto – Parte I

Tipo de cliente	Valor promedio real	Límite inferior	Límite superior	¿Pertenece al intervalo?
Cliente 12	8.00	7.45	8.37	Sí
Cliente 13	6.67	6.31	6.92	Sí
Cliente 14	7.67	7.12	7.85	Sí
Cliente 15	7.00	6.19	7.03	Sí
Cliente 16	6.67	6.54	7.25	Sí
Cliente 17	6.33	5.87	6.49	Sí
Cliente 18	9.33	8.59	9.67	Sí
Cliente 19	8.00	7.99	8.92	Sí
Cliente 21	5.00	4.62	5.09	Sí
Cliente 23	5.33	5.04	5.62	Sí
Cliente 24	5.67	5.38	5.90	Sí
Cliente 25	7.00	6.55	7.12	Sí
Cliente 26	5.67	5.48	5.97	Sí
Cliente 27	5.33	5.28	5.80	Sí
Cliente 28	5.00	5.00	5.59	Sí
Cliente 29	5.00	4.89	5.41	Sí
Cliente 31	4.33	4.07	4.52	Sí
Cliente 32	4.33	4.01	4.37	Sí
Cliente 34	10.00	9.55	10.59	Sí
Cliente 35	8.00	7.55	8.38	Sí
Cliente 36	9.00	8.87	10.05	Sí
Cliente 37	6.33	5.85	6.49	Sí
Cliente 38	4.67	4.45	4.97	Sí
Cliente 39	6.00	5.77	6.35	Sí
Cliente 41	5.33	4.80	5.36	Sí
Cliente 42	8.33	8.02	9.02	Sí
Cliente 43	10.00	9.23	10.07	Sí
Cliente 45	20.33	18.76	20.80	Sí
Cliente 46	10.00	9.42	10.33	Sí
Cliente 47	13.67	13.46	15.35	Sí
Cliente 48	4.67	4.45	4.87	Sí
Cliente 49	10.67	10.10	11.14	Sí
Cliente 51	5.00	4.73	5.29	Sí
Cliente 52	6.67	6.40	7.03	Sí
Cliente 53	8.00	7.95	8.88	Sí
Cliente 54	16.33	15.69	17.48	Sí

Elaboración propia

Tabla 30. Verificación del modelo propuesto – Parte II

Tipo de cliente	Valor promedio real	Límite inferior	Límite superior	¿Pertenece al intervalo?
Cliente 56	11.00	10.77	11.78	Sí
Cliente 57	8.67	8.40	9.35	Sí
Cliente 58	5.67	5.27	5.93	Sí
Cliente 59	7.00	6.49	7.21	Sí
Cliente 61	4.00	3.80	4.20	Sí
Cliente 62	7.33	7.04	7.66	Sí
Cliente 63	9.67	8.80	9.67	Sí
Cliente 64	12.00	11.58	12.87	Sí
Cliente 65	7.67	7.22	7.97	Sí
Cliente 67	7.33	6.90	7.57	Sí
Cliente 68	4.00	3.92	4.33	Sí
Cliente 69	8.33	7.85	8.66	Sí
Cliente 71	4.67	4.51	4.86	Sí
Cliente 72	9.67	8.96	9.79	Sí
Cliente 73	6.00	5.58	6.21	Sí
Cliente 74	14.00	13.82	15.25	Sí
Cliente 75	10.00	9.41	10.65	Sí
Cliente 76	6.67	6.51	7.19	Sí
Cliente 78	11.33	11.31	12.45	Sí
Cliente 79	6.33	5.91	6.46	Sí
Cliente 81	4.67	4.38	4.88	Sí
Cliente 82	4.67	4.48	4.91	Sí
Cliente 83	3.33	3.01	3.39	Sí
Cliente 84	8.00	7.33	8.18	Sí
Cliente 85	8.00	7.37	8.19	Sí
Cliente 86	4.33	4.05	4.55	Sí
Cliente 87	11.00	10.51	11.48	Sí
Cliente 89	5.00	4.76	5.26	Sí
Cliente 91	4.00	3.83	4.31	Sí
Cliente 92	5.00	4.74	5.14	Sí
Cliente 93	1.33	1.28	1.39	Sí
Cliente 94	7.67	7.60	8.26	Sí
Cliente 95	6.67	6.42	7.13	Sí
Cliente 96	7.00	6.52	7.17	Sí
Cliente 97	9.33	9.16	10.06	Sí
Cliente 98	8.00	7.88	8.79	Sí

Elaboración propia

Puesto que se verifica que los valores reales promedios se encuentran dentro de los intervalos de confianza construidos para los resultados de la simulación del

modelo propuesto, se puede afirmar que el modelo planteado satisface las necesidades actuales de envío de documentación de la empresa a un menor costo dado que se trabaja sólo con un mensajero.

Sin embargo, teniendo en cuenta la excesiva carga laboral que tendría éste único mensajero, se propuso un modelo alternativo con dos mensajeros cuyo objetivo también sería satisfacer las necesidades actuales de la empresa así como disminuir el tiempo de entrega de los documentos.

Para demostrar que el tiempo de entrega de los documentos con dos mensajeros es menor que con un mensajero, se realizó la prueba de hipótesis de diferencia de medias. Para ello se tomó una muestra inicial de 30 datos en cada modelo, se consideró un error máximo aceptable del 1%, una confiabilidad del 95% y se obtuvieron los tamaños de muestra óptimos (n) para cada modelo. Para el modelo con un mensajero, resultó que el tamaño de muestra óptimo era 13 y para el modelo con dos mensajeros era 18.

Luego se planteó la prueba de hipótesis de la siguiente forma:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 > \mu_2$$

Se calculó el estadístico:

$$T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \sim t(r)$$

Donde:

$$r = \frac{\left[\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right]^2}{\frac{\left[\frac{s_1^2}{n_1} \right]^2}{n_1 - 1} + \frac{\left[\frac{s_2^2}{n_2} \right]^2}{n_2 - 1}}$$

Para el cálculo del estadístico T , se usaron los valores mostrados en la Tabla 31.

Tabla 31. Datos para la prueba de hipótesis de medias

	Tamaño de muestra		Media		Desviación Estándar		$T_{calculado}$	Grados de libertad (r)	$T_{1-\alpha;r}$
	n_1		\bar{X}_1		s_1				
Modelo con un mensajero	n_1	13	\bar{X}_1	4827.25	s_1	74.62	49.83	24	1.71
Modelo con dos mensajeros	n_2	18	\bar{X}_2	3536.88	s_2	66.02			

Elaboración propia

Dado que el valor del estadístico T resulta mayor que el valor de T para la región crítica ($49.83 > 1.71$), se rechaza la hipótesis H_0 , por lo que se puede afirmar que el tiempo de entrega promedio del modelo con un mensajero es mayor que el tiempo de entrega promedio del modelo con dos mensajeros.

Finalmente, según las consideraciones mencionadas con respecto a la carga laboral del mensajero, así como la verificación de la disminución del tiempo de entrega, podemos concluir que el modelo con dos mensajeros es el más adecuado.

3.2 Aplicación de algoritmos heurísticos para la mensajería externa

3.2.1 Ubicación geográfica de los puntos de la ruta externa

De lo analizado en el acápite 2.2.2, mediante la aplicación del Principio de Pareto se obtuvieron los puntos que se muestran en la Tabla 32 con su respectivo ID . Dicho ID fue utilizado en la aplicación de los algoritmos heurísticos para identificar los puntos geográficamente.

Tabla 32. Listado de los puntos de mensajería externa

ID	Lugar	ID	Lugar	ID	Lugar
0	ALICORP CENTRAL	24	UDEP	49	Emusa
1	PUCP	25	UNALM	50	Serpost
2	Universidad de Lima	26	Ministerio de Trabajo	51	Corporación refrigerados
3	UPC	27	Ransa	52	Ministerio de Agricultura
4	Planta Ate	28	Telefónica	53	Ministerio de la Producción
5	Planta Alianza	29	SITEL	54	Secrex
6	Planta Molino Callao	30	Notaria Galvez	55	Cimagraf
7	Planta Molino Santa Rosa	31	DIGESA	56	Oficentro
8	Planta Breña	32	ESAN	57	Loyalti Perú
9	COGESA	33	Schianza	58	Socorro Express
10	Planta Rímac	34	Mediavest	59	San Miguel Industrial
11	Banco Continental	35	Yobel	60	Movistar
12	Banco Scotiabank	36	Sunat - Callao	61	Pacifico Seguro
13	Banco Interbank	37	Sunat San Isidro	62	Metro
14	Banco de la Nación	38	Sunat Lima	63	Accor Services
15	Lucky	39	Banco de la Nación - Callao	64	RENIEC - San Borja
16	Banco Interamericano de Finanzas	40	SENASA	65	RENIEC - Lima
17	Orus	41	Fotochecks y sistemas	66	Publis Asociados
18	UNMSM	42	Intertek Testing	67	Corferias del Pacífico
19	Perú Plast	43	Apoyo & Asociados	68	Dummies Art
20	Universidad del Pacífico	44	Microbiol	69	Creatique
21	Minka	45	América Televisión	70	Sedapal
22	Senati	46	Trupal	71	Nestlé
23	Transportes Chan Chan	47	Hiraoka	72	Banco de Credito
		48	Universal Textil		

Elaboración propia

3.2.2 Aplicación del Algoritmo de *Gillet Miller*

La aplicación de este algoritmo se realizó en dos fases: agrupar primero y luego diseñar rutas. Para ello se ubicó a cada punto según coordenadas (r, θ) , teniendo como punto de partida u origen de coordenadas la sede central de la empresa. La Tabla 33 muestra las coordenadas correspondientes para cada punto mostrado en la Tabla 32.

Tabla 33. Coordenadas de todos los puntos de mensajería externa

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
r (km)	3.05	13.88	15.59	14.48	4.00	4.79	5.82	4.35	8.95	7.90	9.53
θ (°)	144	117	114	97	84	265	250	107	126	84	121
ID	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
r (km)	9.54	9.13	8.37	8.46	8.97	10.39	1.95	11.58	6.52	1.81	6.51
θ (°)	122	120	126	143	123	126	125	102	128	267	39
ID	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
r (km)	5.94	10.71	16.40	6.50	2.14	8.24	8.50	0.82	8.45	15.86	13.53
θ (°)	109	127	104	114	264	129	128	125	119	113	122
ID	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
r (km)	15.54	19.90	3.94	9.31	6.35	3.90	15.14	13.58	3.66	12.57	9.38
θ (°)	118	19	250	124	106	249	98	131	151	136	143
ID	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
r (km)	12.94	10.17	3.30	3.31	16.61	5.34	5.52	16.11	11.28	9.46	7.46
θ (°)	141	79	170	110	150	36	47	101	112	139	112
ID	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
r (km)	11.50	15.50	11.01	6.76	9.26	9.28	1.74	9.08	11.36	6.89	7.55
θ (°)	112	117	18	41	125	125	178	125	113	90	136
ID	67	68	69	70	71	72					
r (km)	9.57	4.54	19.81	3.53	13.94	9.33					
θ (°)	139	113	151	149	96	123					

Elaboración propia

Luego de tener las coordenadas (r, θ) para cada punto, se procedió a ordenarlos de menor a mayor según su ángulo (θ) . Para los casos donde el ángulo (θ) era el mismo, se ordenó según el radio (r) en forma ascendente.

Una vez ordenados todos los puntos según sus coordenadas, se procedió a dividir el total de puntos en cuatro zonas, teniendo en cuenta que cada zona debía contener igual cantidad de puntos por visitar y considerando también que el tiempo que tomara recorrer cada zona no interfiera con el horario de refrigerio ni que exceda el horario laboral de la empresa.

Por lo expuesto en el párrafo anterior, la zonificación resultante de los puntos se muestra en las Tabla 34 y 35.

Tabla 34. Zonificación de los puntos de mensajería externa – Parte I

Orden	θ	ID	Zona	Orden	θ	ID	Zona
1	18	58	Zona 1	19	109	23	Zona 2
2	19	35		20	110	48	
3	36	50		21	112	55	
4	39	22		22	112	53	
5	41	59		23	112	56	
6	47	51		24	113	68	
7	79	46		25	113	64	
8	84	5		26	113	32	
9	84	10		27	114	26	
10	90	65		28	114	3	
11	96	71		29	117	2	
12	97	4		30	117	57	
13	98	40		31	118	34	
14	101	52		32	119	31	
15	102	19		33	120	13	
16	104	25		34	121	11	
17	106	38		35	122	12	
18	107	8		36	122	33	

Elaboración propia

Tabla 35. Zonificación de los puntos de mensajería externa – Parte II

Orden	θ	ID	Zona	Orden	θ	ID	Zona
37	123	16	Zona 3	55	139	54	Zona 4
38	123	72		56	139	67	
39	124	37		57	141	45	
40	125	30		58	143	15	
41	125	18		59	143	44	
42	125	63		60	144	1	
43	125	60		61	149	70	
44	125	61		62	150	49	
45	126	14		63	151	42	
46	126	9		64	151	69	
47	126	17		65	170	47	
48	127	24		66	178	62	
49	128	20		67	249	39	
50	128	29		68	250	36	
51	129	28		69	250	7	
52	131	41		70	264	27	
53	136	66		71	265	6	
54	136	43		72	267	21	

Elaboración propia

El Gráfico 22 muestra la distribución geográfica de las cuatro zonas o *clusters* generados.

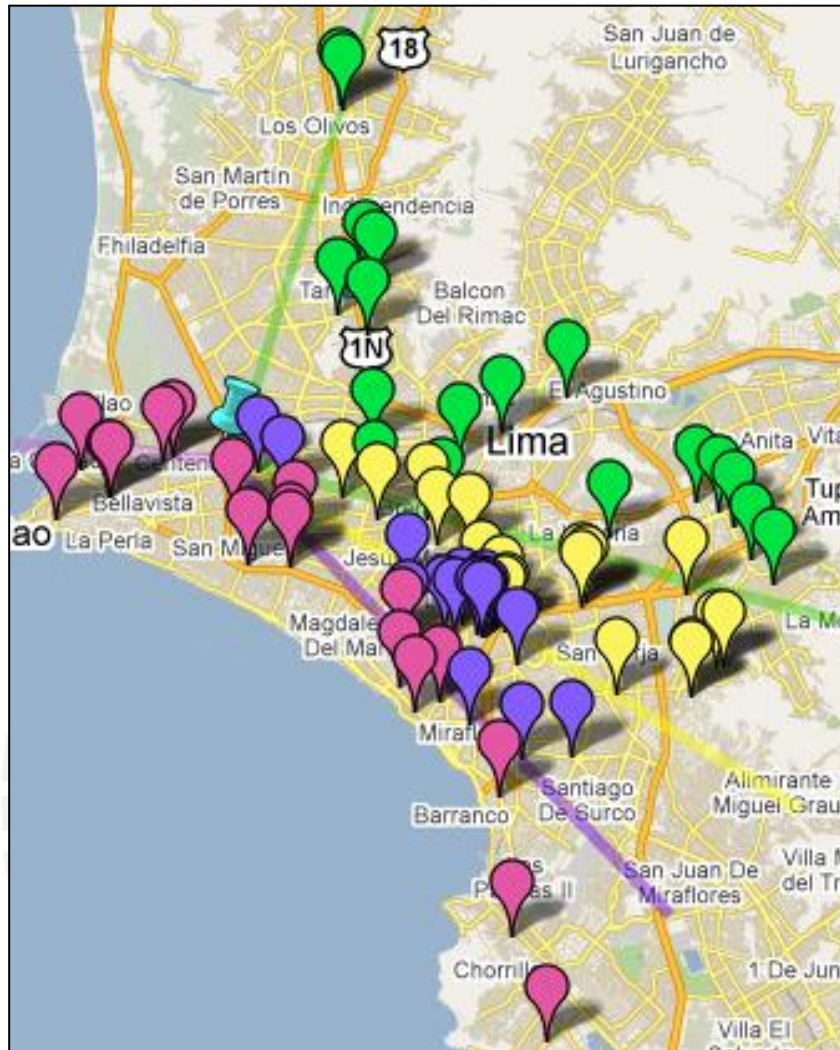


Gráfico 22. Generación de *clusters*
Fuente: Google Maps

3.2.3 Aplicación del Algoritmo de *Clarke and Wright*

Una vez obtenidos los *clusters* en el acápite anterior, se diseñaron las rutas para cada uno de ellos teniendo en cuenta que el punto de origen y punto final de cada ruta debía ser la sede central de la empresa.

Para el diseño de las rutas se aplicó el Algoritmo de *Clarke and Wright* (Algoritmo de Ahorros) por lo que fue necesaria la construcción de las matrices de distancias y ahorros para cada *cluster*. Para efectos de la explicación, a continuación se mostrarán los cálculos realizados para la zona 1. Los cálculos y resultados obtenidos para las zonas 2, 3 y 4 se muestran en el Anexo 3.

En cuanto a la matriz de distancias, ésta se construyó midiendo la distancia existente entre cada punto perteneciente a la zona 1. La Tabla 36 muestra la matriz de distancias obtenida para ésta zona.

Tabla 36. Matriz de distancias de la zona 1 – Algoritmo de *Clarke and Wright*

Distancias (km)																				
	4	5	8	10	19	22	25	35	38	40	46	50	51	52	58	59	65	71		
0	14.48	4.00	4.35	7.90	11.58	6.51	16.40	19.90	6.35	15.14	10.17	5.34	5.52	16.11	11.01	6.76	6.89	13.94		
4		10.58	10.27	6.95	3.35	12.79	2.45	16.47	8.27	0.60	5.74	12.88	11.79	1.70	16.60	12.29	7.86	0.79		
5			1.57	3.89	7.96	4.79	12.45	10.05	2.97	11.05	5.97	4.03	3.32	11.79	10.20	4.69	2.71	9.81		
8				4.24	7.16	6.37	11.90	11.61	2.08	10.68	6.39	5.58	4.88	11.32	11.78	6.26	2.81	9.55		
10					4.58	6.12	9.04	10.70	3.07	7.45	2.13	6.06	4.97	8.32	10.90	5.74	1.47	6.14		
19						10.70	4.76	15.08	5.08	3.65	4.46	10.62	9.53	4.19	15.32	10.32	5.07	2.78		
22							15.00	5.20	7.34	13.32	7.03	1.15	1.49	14.30	5.42	0.51	6.06	11.95		
25								18.84	9.81	1.84	8.09	15.06	13.97	0.74	19.03	14.55	9.74	3.72		
35									12.51	17.12	10.89	6.14	6.76	18.16	0.16	5.43	11.06	15.83		
38										8.69	5.11	6.78	5.88	9.25	12.67	7.12	1.77	7.59		
40											6.34	13.44	12.38	1.08	17.23	12.89	8.38	1.36		
46												7.24	6.23	7.33	11.00	6.56	3.65	5.02		
50													1.06	14.31	6.29	1.38	5.68	12.09		
51															13.26	6.89	1.38	4.66	11.03	
52																18.29	13.84	9.28	2.36	
58																	5.59	11.18	15.94	
59																		5.71	11.54	
65																			7.14	
71																				7.14

Elaboración propia

Para la construcción de la matriz de ahorros, primero fue necesario determinar el ahorro entre los puntos pertenecientes a la zona 1. Dicho ahorro fue obtenido mediante la aplicación de la siguiente fórmula.

$$S_{ij} = C_{i0} + C_{0j} - C_{ij}$$

Donde

S_{ij} : ahorro que se obtiene al juntar dos puntos (i, j) en una sola ruta.

C_{i0} : distancia existente del punto i al origen (Predio Central).

C_{0j} : distancia existente del origen (Predio Central) al punto j .

C_{ij} : distancia existente del punto i al punto j .

La Tabla 37 muestra la matriz de ahorros obtenida para la zona 1.

Tabla 37. Matriz de ahorros de la zona 1 – Algoritmo de Clarke and Wright

Ahorros (km)																			
	4	5	8	10	19	22	25	35	38	40	46	50	51	52	58	59	65	71	
0	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	
4		7.89	8.55	15.43	22.70	8.20	28.43	17.91	12.56	29.02	18.91	6.93	8.21	28.88	8.89	8.95	13.50	27.62	
5			6.77	8.01	7.61	5.72	7.95	13.84	7.38	8.08	8.20	5.31	6.20	8.31	4.81	6.07	8.18	8.12	
8				8.01	8.76	4.49	8.84	12.64	8.62	8.80	8.12	4.10	4.98	9.14	3.57	4.84	8.43	8.73	
10					14.90	8.29	15.26	17.10	11.19	15.59	15.95	7.18	8.46	15.68	8.02	8.92	13.32	15.70	
19						7.39	23.22	16.40	12.85	23.07	17.29	6.30	7.57	23.50	7.27	8.02	13.40	22.74	
22							7.91	21.21	5.53	8.34	9.66	10.70	10.55	8.32	12.10	12.77	7.34	8.50	
25								17.46	12.94	29.70	18.48	6.67	7.95	31.77	8.38	8.61	13.55	26.61	
35									13.74	17.92	19.18	19.09	18.66	17.84	30.75	21.23	15.73	18.01	
38										12.81	11.42	4.91	6.00	13.21	4.69	6.00	11.47	12.70	
40											18.97	7.04	8.28	30.17	8.92	9.01	13.65	27.72	
46												8.27	9.47	18.95	10.18	10.37	13.42	19.09	
50													9.80	7.13	10.06	10.72	6.55	7.18	
51														8.37	9.64	10.90	7.76	8.43	
52															8.82	9.03	13.71	27.69	
58																12.19	6.72	9.01	
59																	7.94	9.16	
65																		13.69	
71																			7.1

Elaboración propia

Una vez calculados los ahorros entre cada punto de la zona, se procedió a ordenar la matriz de ahorros en forma descendente, de tal modo que facilitara la identificación de la unión de puntos que generaban un mayor ahorro.

Posteriormente, se plantearon las rutas iniciales para cada zona, las cuales debían ser de la forma $(0; i; 0)$. A continuación la Tabla 38 muestra las rutas iniciales establecidas para la zona 1. En el Anexo 4 se muestran las tablas correspondientes a la zona 2, 3 y 4.

Tabla 38. Rutas iniciales de la zona 1

Rutas iniciales		
0	4	0
0	5	0
0	8	0
0	10	0
0	19	0
0	22	0
0	25	0
0	35	0
0	38	0
0	40	0
0	46	0
0	50	0
0	51	0
0	52	0
0	58	0
0	59	0
0	65	0
0	71	0

Elaboración propia

A las rutas iniciales planteadas, se le fueron añadiendo los puntos cuya unión generara el mayor ahorro posible. Eso se realizó de manera iterativa teniendo en cuenta las reglas establecidas en el acápite 1.2.4.2, y hasta lograr que todos los puntos comprendidos en cada zona se encontraran dentro de una sola ruta (ruta óptima) tal como se muestra en las Tablas 39 y 40 para la zona 1.

Tabla 39. Iteraciones de la zona 1 – Parte I

Iteración	Rutas generadas	Puntos añadidos
1	0-25-52-0	25, 52
2	0-25-52-0	
	0-35-58-0	35, 58
3	0-25-52-40-0	40
	0-35-58-0	
4	0-25-52-40-4-0	4
	0-35-58-0	
5	0-25-52-40-4-71-0	71
	0-35-58-0	
6	0-19-25-52-40-4-71-0	19
	0-35-58-0	

Elaboración propia

Tabla 40. Iteraciones de la zona 1 – Parte II

Iteración	Rutas generadas	Puntos añadidos
7	0-19-25-52-40-4-71-0	
	0-59-35-58-0	59
8	0-19-25-52-40-4-71-46-0	46
	0-59-35-58-0	
9	0-19-25-52-40-4-71-46-10-0	10
	0-59-35-58-0	
10	0-65-19-25-52-40-4-71-46-10-0	65
	0-59-35-58-0	
11	0-65-19-25-52-40-4-71-46-10-0	
	0-22-59-35-58-0	22
12	0-38-65-19-25-52-40-4-71-46-10-0	38
	0-22-59-35-58-0	
13	0-38-65-19-25-52-40-4-71-46-10-0	
	0-50-22-59-35-58-0	50
14	0-38-65-19-25-52-40-4-71-46-10-0	
	0-51-50-22-59-35-58-0	51
15	0-8-38-65-19-25-52-40-4-71-46-10-0	8
	0-51-50-22-59-35-58-0	
16	0-5-8-38-65-19-25-52-40-4-71-46-10-0	5
	0-51-50-22-59-35-58-0	
17	0-5-8-38-65-19-25-52-40-4-71-46-10-51-50-22-59-35-58-0	

Elaboración propia

Las iteraciones realizadas para las zonas 2, 3 y 4 se muestran en el Anexo 4.

De las iteraciones realizadas, fue posible obtener una ruta óptima para cada zona, cuyos puntos se muestran en las Tablas 41, 42, 43 y 44, y cuya ubicación geográfica se muestra en los Gráficos 23, 24, 25 y 26.

En los gráficos, tener en cuenta que los puntos pertenecientes a la zona 1 se encuentran marcados en verde; los de la zona 2 en amarillo; los de la zona 3 en lila y los de la zona 4 en fucsia.

Tabla 41. Ruta óptima para la zona 1 según el Algoritmo de *Clarke and Wright*

Ruta 1																			
0	5	8	38	65	19	25	52	40	4	71	46	10	51	50	22	59	35	58	0

Elaboración propia

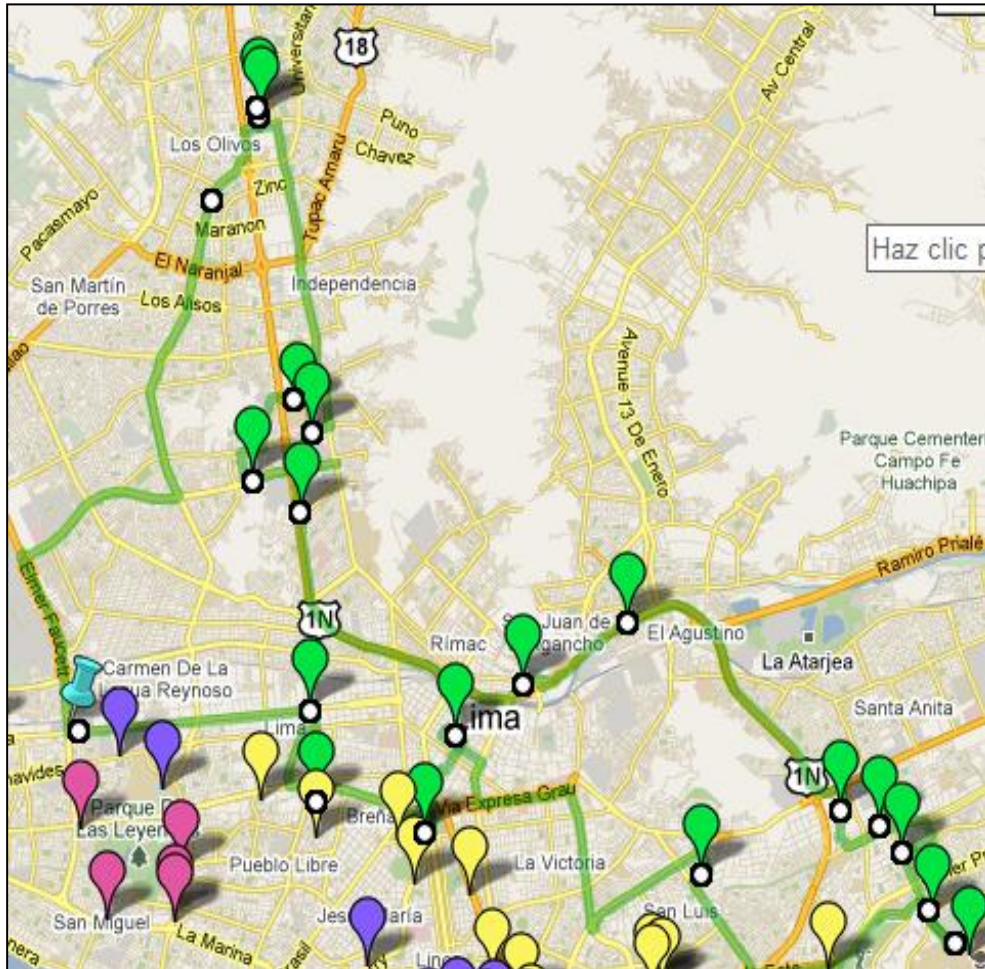


Gráfico 23. Ruta óptima para la zona 1 según el Algoritmo de *Clarke and Wright*
Fuente: Google Maps

Tabla 42. Ruta óptima para la zona 2 según el Algoritmo de Clarke and Wright

Ruta 2																			
0	48	23	26	55	53	56	64	2	3	32	34	57	33	12	11	13	31	68	0

Elaboración propia

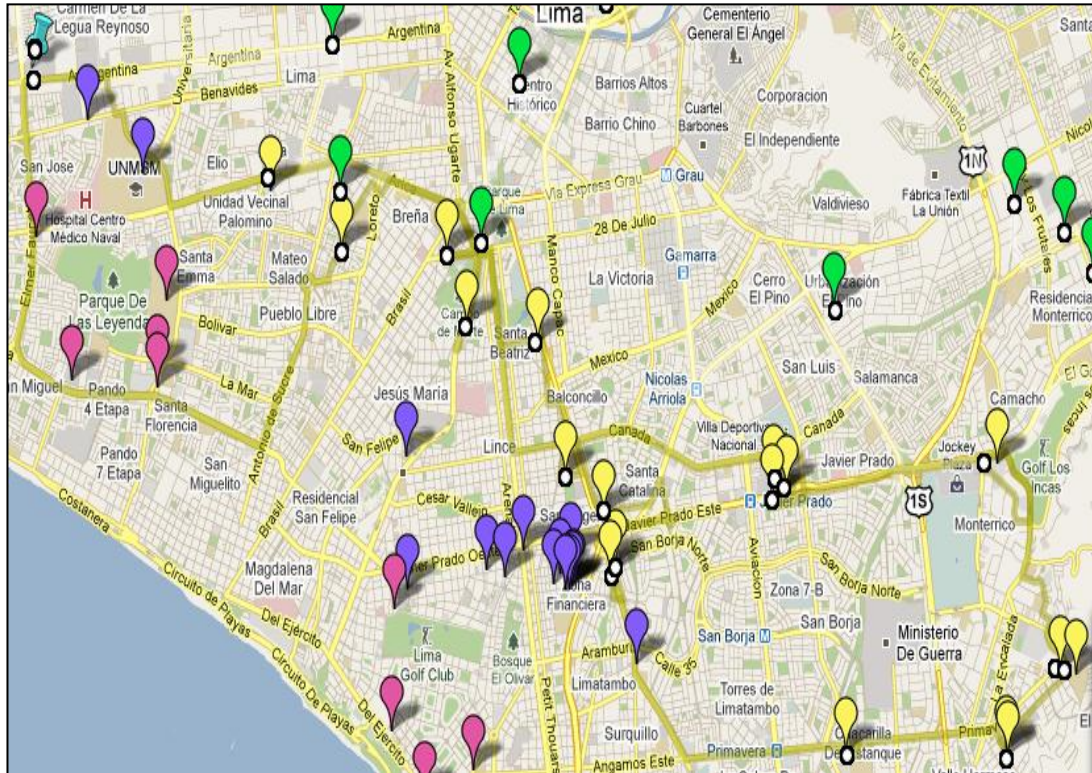


Gráfico 24. Ruta óptima para la zona 2 según el Algoritmo de Clarke and Wright

Fuente: Google Maps

Tabla 43. Ruta óptima para la zona 3 según el Algoritmo de *Clarke and Wright*

Ruta 3																			
0	30	20	28	29	14	16	9	63	60	61	37	72	17	41	43	24	66	18	0

Elaboración propia

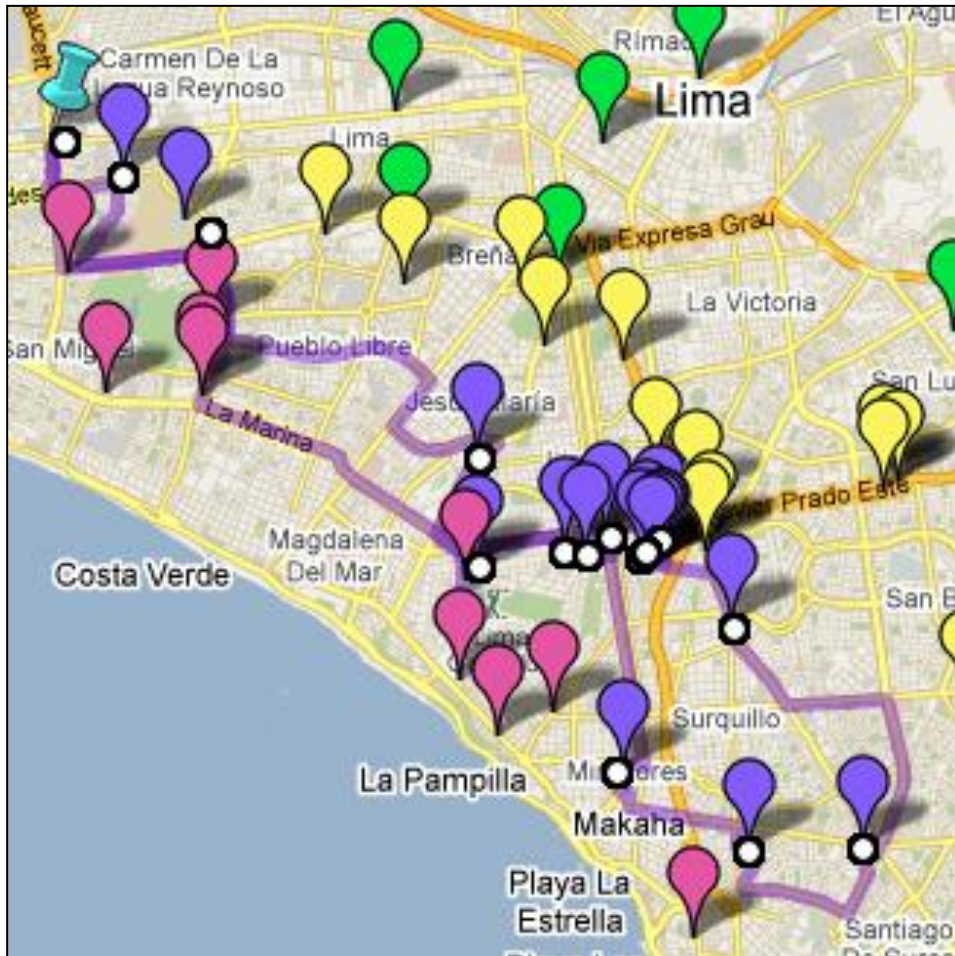


Gráfico 25. Ruta óptima para la zona 3 según el Algoritmo de *Clarke and Wright*

Fuente: Google Maps

Tabla 44. Ruta óptima para la zona 4 según el Algoritmo de *Clarke and Wright*

Ruta 4																			
0	1	54	67	45	49	69	44	15	42	70	47	62	21	6	7	36	39	27	0

Elaboración propia

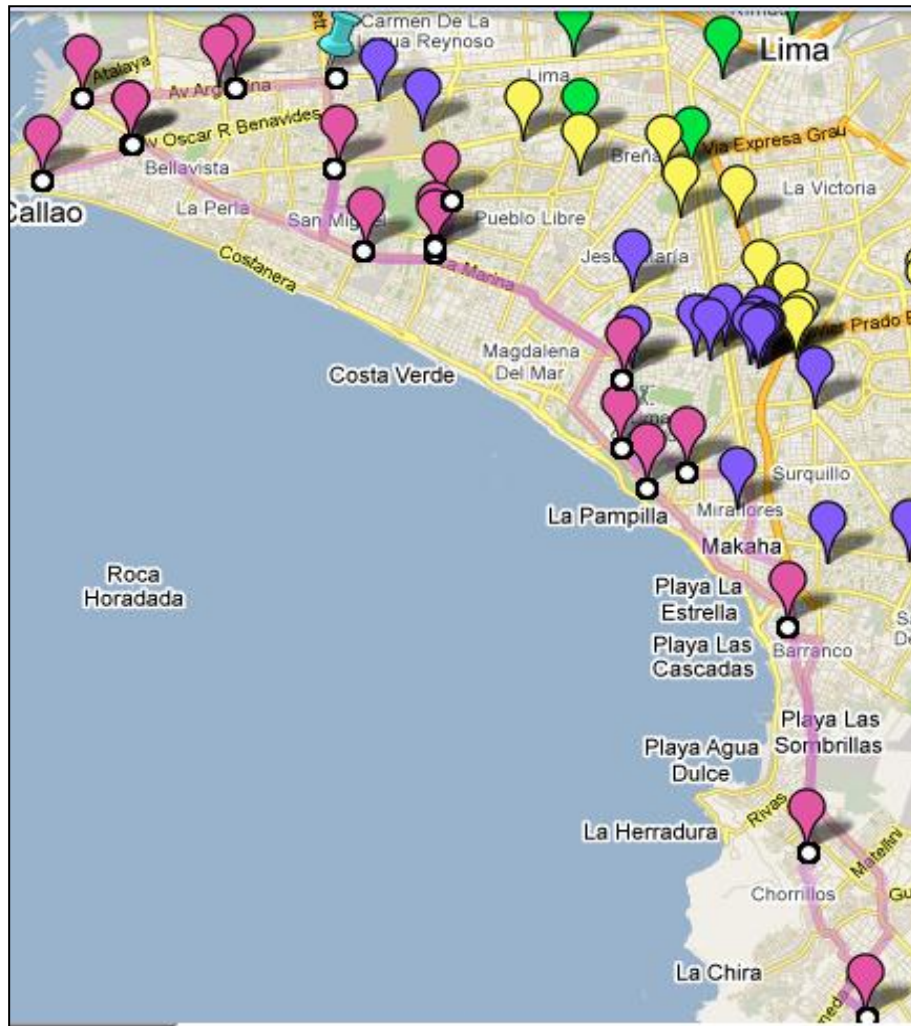


Gráfico 26. Ruta óptima para la zona 4 según el Algoritmo de *Clarke and Wright*

Fuente: Google Maps

Luego de obtener las rutas óptimas para cada zona, se calculó el kilometraje total recorrido en cada una, tales distancias se muestran en la Tabla 45.

Tabla 45. Kilómetros recorridos por ruta

Ruta	Distancia recorrida
Ruta 1	78.7 km
Ruta 2	59.7 km
Ruta 3	46.4 km
Ruta 4	55.8 km

Elaboración propia

El tiempo empleado en recorrer cada ruta, se evaluó en tres escenarios, optimista, moderado y pesimista, los cuáles fueron determinados por una velocidad dada. Para definir las velocidades para cada escenario, se procedió a construir un intervalo de confianza para la velocidad media de las unidades de transporte. Para ello se tomó una muestra inicial de 30 datos, se calculó la media y desviación estándar de dicha muestra, y con un error de estimación del 5% de la media y un nivel de confianza del 95% se aplicó la fórmula (1) y se determinó el tamaño de muestra óptimo para el cálculo de los intervalos de confianza. La Tabla 46 muestra los valores que fueron empleados en el cálculo del tamaño de muestra óptimo.

Tabla 46. Datos para el cálculo del tamaño de muestra óptimo

Datos	
Tamaño de muestra (n)	30
Error	5%
Media	38.97
Desviación estándar	12.77
Z	1.96
Tamaño de muestra óptimo	166

Elaboración propia

Luego con los 166 datos (tamaño de muestra óptimo) se calculó la media, la desviación estándar, se consideró un nivel de confianza del 95% y se aplicó la fórmula (2) para hallar los límites del intervalo de confianza.

- Límite inferior: 38.27
- Límite superior: 42.59

A partir de dichos límites se definieron los escenarios antes mencionados. A continuación la Tabla 47 muestra los parámetros para cada escenario considerado, donde el límite inferior del escenario pesimista está dado por el valor mínimo de los 166 datos recogidos en la empresa y el límite superior del escenario optimista está dado por el valor máximo de los datos recogidos en la empresa. En cuanto al valor promedio mostrado para cada escenario, éste se calculó promediando los datos que se encontraban entre los límites de cada escenario respectivamente.

Tabla 47. Parámetros de los escenarios propuestos

Escenario	Límite inferior (km/h)	Límite superior (km/h)	Valor promedio (km/h)
Pesimista	17.00	38.26	28.45
Moderado	38.27	42.59	40.94
Optimista	42.60	68.00	55.36

Elaboración propia

Para hallar el tiempo estimado en recorrer cada ruta dentro de cada escenario, se utilizó el kilometraje mostrado en la Tabla 45, así como los valores promedios de velocidad de cada escenario. Además se consideró un tiempo de espera de 10 minutos por cada punto visitado dentro de cada ruta. Las Tablas 48, 49 y 50 muestran los resultados para las cuatro rutas en el escenario pesimista, moderado y optimista respectivamente.

Tabla 48. Resultados de las cuatro rutas obtenidas por Clarke and Wright en un escenario pesimista

Ruta	Escenario pesimista				Total
	1	2	3	4	
Velocidad (km/h)	28.45	28.45	28.45	28.45	
Distancia (km)	78.70	59.70	46.40	55.8	240.60
Tiempo recorrido (h)	2.77	2.10	1.63	1.96	
Tiempo de espera (h)	3.00	3.00	3.00	3.00	
Tiempo total (h)	5.77	5.10	4.63	4.96	20.46

Elaboración propia

Tabla 49. Resultados de las cuatro rutas obtenidas por Clarke and Wright en un escenario moderado

Escenario moderado					Total
Ruta	1	2	3	4	
Velocidad (km/h)	40.94	40.94	40.94	40.94	
Distancia (km)	78.70	59.70	46.40	55.80	240.60
Tiempo recorrido (h)	1.92	1.46	1.13	1.36	
Tiempo de espera (h)	3.00	3.00	3.00	3.00	
Tiempo total (h)	4.92	4.46	4.13	4.36	17.88

Elaboración propia

Tabla 50. Resultados de las cuatro rutas obtenidas por Clarke and Wright en un escenario optimista

Escenario optimista					Total
Ruta	1	2	3	4	
Velocidad (km/h)	55.36	55.36	55.36	55.36	
Distancia (km)	78.70	59.70	46.40	55.80	240.60
Tiempo recorrido (h)	1.42	1.08	0.84	1.01	
Tiempo de espera (h)	3.00	3.00	3.00	3.00	
Tiempo total (h)	4.42	4.08	3.84	4.01	16.35

Elaboración propia

Teniendo en cuenta que cada ruta es recorrida una vez al día y que la empresa labora 240 días al año, fue posible obtener el kilometraje total anual por las cuatro rutas establecidas, cuyo valor es de 57,744 kilómetros.

3.2.4 Aplicación del Algoritmo de Pétalos

Otro algoritmo utilizado en la resolución de problemas heurísticos, es el Algoritmo de Pétalos, el cual también se aplicó en el presente estudio con el objetivo de lograr el menor recorrido anual para la mensajería externa. Dicho algoritmo consiste en un programa lineal y para la resolución de éste se usó LINDO.

El planteamiento de la función objetivo y de las restricciones del caso se realizó según el siguiente procedimiento.

1. Se generaron rutas arbitrariamente y se calcularon las distancias respectivas por cada ruta generada.
2. Dichas distancias fueron utilizadas para plantear la función objetivo.
3. Se consideró que la variable X_k era binaria; es decir, sólo podía tomar el valor 0 ó 1. Con dicha restricción se aseguró que cada punto sea recorrido por una sola ruta.

La Tabla 51 muestra las rutas arbitrarias generadas y sus respectivas distancias.

Tabla 51. Rutas arbitrarias - Algoritmo de Pétalos

Rutas	Variables asignadas	Recorrido	Distancia Total del recorrido (km)
1	X1	0-21-27-6-7-39-36-62-47-42-70-1-68-8-5-48-18-30-0	32.8
2	X2	0-58-35-22-59-50-51-46-10-65-55-20-26-38-23-0	68.1
3	X3	0-30-31-13-19-71-4-40-52-25-2-56-53-65-17-12-11-16-72-37-61-60-9-63-14-29-28-66-0	40.07
4	X4	0-30-31-13-19-71-4-40-52-25-2-56-53-65-17-12-11-16-72-37-61-60-9-63-14-29-28-66-67-54-0	44.22
5	X5	0-54-66-28-29-14-16-72-37-61-60-9-63-11-12-17-64-53-56-2-25-52-40-4-71-19-13-31-0	78.7
6	X6	0-15-44-45-49-69-3-32-34-57-33-41-43-24-67-0	74.9
7	X7	0-58-35-22-59-50-51-65-10-46-71-4-40-52-25-2-19-28-23-8-5-0	54.11
8	X8	0-48-68-23-26-55-31-13-12-33-34-57-32-3-2-56-53-65-0	35.84
9	X9	0-30-18-20-28-29-14-16-63-9-60-61-37-72-17-41-43-24-66-0	28.98
10	X10	0-62-1-70-42-54-67-45-44-15-47-7-36-39-6-27-21-0	38.07
11	X11	0-58-35-22-59-50-51-46-10-65-55-20-26-38-23-68-48-1-18-30-0	44.23
12	X12	0-58-35-22-59-50-51-46-10-65-55-20-26-38-23-68-48-1-18-30-62-0	46.49
13	X13	0-30-31-13-19-71-4-40-52-25-2-56-53-65-17-12-11-16-72-37-61-60-9-63-14-29-28-66-42-70-1-62-0	41.51
14	X14	0-30-31-13-19-71-4-40-52-25-2-56-53-65-17-12-11-16-72-37-61-60-9-63-14-29-28-66-42-70-1-0	40.82
15	X15	0-62-1-70-42-54-67-24-43-41-69-49-4545-44-15-47-7-36-39-6-27-21-0	55.11
16	X16	0-5-65-10-46-19-55-26-38-23-68-8-48-1-70-42-47-62-0	32.17
17	X17	0-5-65-10-46-19-55-26-23-68-8-48-1-70-42-47-62-0	32.67
18	X18	0-5-65-10-46-19-55-26-38-68-8-48-1-70-42-47-62-0	33.37
19	X19	0-5-65-10-46-19-55-26-68-8-48-1-70-42-47-62-0	32.34
20	X20	0-5-65-10-46-19-55-26-38-8-48-1-70-42-47-62-0	32.74
21	X21	0-30-18-48-10-68-23-38-26-14-29-28-66-54-67-44-15-42-70-1-62-0	34.05
22	X22	0-30-18-48-68-23-38-26-14-29-28-66-54-67-44-15-42-70-1-62-0	25.65
23	X23	0-30-18-48-10-65-68-23-38-26-14-29-28-66-54-67-44-15-42-70-62-0	33.39
24	X24	0-30-18-48-68-23-38-26-14-29-28-66-54-67-44-15-42-70-62-0	24.83
25	X25	0-62-47-15-44-54-67-45-49-69-43-17-24-66-20-1-18-30-0	46.96

Elaboración propia

En el Anexo 5 se muestra el modelo de programación lineal cuya solución se ilustra en la Tabla 52.

Tabla 52. Resultados de LINDO

Variable	Value	Variable	Value	Variable	Value
X1	1	X9	0	X18	0
X2	1	X10	0	X19	0
X3	0	X11	0	X20	0
X4	0	X12	0	X21	0
X5	1	X13	0	X22	0
X6	1	X14	0	X23	0
X7	0	X15	0	X24	0
X8	0	X16	0	X25	0
		X17	0		

Elaboración propia

Según la solución mostrada, en la Tabla 53 se listan los puntos que conforman las rutas óptimas arrojadas por este algoritmo.

Tabla 53. Rutas óptimas obtenidas según el Algoritmo de Pétalos

Ruta	Variable	Recorrido
Ruta 1	X1	0-21-27-6-7-39-36-62-47-42-70-1-68-8-5-48-18-30-0
Ruta 2	X2	0-58-35-22-59-50-51-46-10-65-55-20-26-38-23-0
Ruta 3	X5	0-54-66-28-29-14-16-72-37-61-60-9-63-11-12-17-64-53-56-2-25-52-40-4-71-19-13-31-0
Ruta 4	X6	0-15-44-45-49-69-3-32-34-57-33-41-43-24-67-0

Elaboración propia

Luego, se proyectaron las rutas en los escenarios planteados en la Tabla 47 considerando un tiempo promedio de espera de 10 minutos por cada punto visitado, con lo cual se obtuvieron las distancias y tiempos de recorrido totales mostrados en las Tablas 54, 55 y 56.

Tabla 54. Resultados de las cuatro rutas obtenidas por el Algoritmo de Pétalos en un escenario pesimista

Ruta	Escenario pesimista				Total
	1	2	3	4	
Velocidad (km/h)	28.45	28.45	28.45	28.45	
Distancia (km)	32.80	68.10	78.70	74.90	254.50
Tiempo recorrido(h)	1.15	2.39	2.77	2.63	
Tiempo de espera (h)	2.83	2.33	4.50	2.33	
Tiempo total (h)	3.99	4.73	7.27	4.97	20.95

Elaboración propia

Tabla 55. Resultados de las cuatro rutas obtenidas por el Algoritmo de Pétalos en un escenario moderado

Escenario moderado					Total
Ruta	1	2	3	4	
Velocidad (km/h)	40.94	40.94	40.94	40.94	
Distancia (km)	32.80	68.10	78.70	74.90	254.50
Tiempo recorrido (h)	0.80	1.66	1.92	1.83	
Tiempo de espera (h)	2.83	2.33	4.50	2.33	
Tiempo total (h)	3.63	4.00	6.42	4.16	18.22

Elaboración propia

Tabla 56. Resultados de las cuatro rutas obtenidas por el Algoritmo de Pétalos en un escenario optimista

Escenario optimista					Total
Ruta	1	2	3	4	
Velocidad (km/h)	55.36	55.36	55.36	55.36	
Distancia (km)	32.80	68.10	78.70	74.90	254.50
Tiempo recorrido (h)	0.59	1.23	1.42	1.35	
Tiempo de espera (h)	2.83	2.33	4.50	2.33	
Tiempo total (h)	3.43	3.56	5.92	3.69	16.60

Elaboración propia

Teniendo en cuenta que cada ruta es recorrida una vez al día y que la empresa labora 240 días al año, fue posible obtener el kilometraje total anual por las cuatro rutas establecidas, cuyo valor es de 61,080 kilómetros.

3.2.5 Elección del Algoritmo Heurístico.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la aplicación del Algoritmo de *Clarke and Wright* y del Algoritmo de Pétalos, se puede concluir que las rutas obtenidas mediante el algoritmo de *Clarke and Wright* son las que optimizan el recorrido a realizarse en mensajería externa. Ello debido a que las distancias totales de dichas rutas son menores que las obtenidas con el Algoritmo de Pétalos.

La Tabla 57 muestra un resumen de los resultados obtenidos mediante la aplicación de ambos algoritmos.

Tabla 57. Cuadro comparativo de la aplicación de los algoritmos

	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Ruta 4	Total rutas
	Distancia total anual (km)	Distancia total anual (km)	Distancia total anual (km)	Distancia total anual (km)	Distancia total anual (km)
Algoritmo de Clarke and Wright	18,888	14,328	11,136	13,392	57,744
Algoritmo de Pétalos	7,872	16,344	18,888	17,976	61,080

Elaboración propia



CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este capítulo se cuantificará el beneficio obtenido por la empresa con la aplicación de las mejoras propuestas tanto para mensajería interna como externa.

4.1 Evaluación en mensajería interna

En la mensajería interna, el beneficio que lograría la empresa aplicando el modelo propuesto es el ahorro que se consigue al reducir el número de mensajeros. Para la cuantificación del ahorro generado, se ha considerado un horizonte de análisis de un año. A continuación la Tabla 58 muestra dicho ahorro aplicando el modelo propuesto de funcionamiento y teniendo en cuenta que el salario mensual de cada mensajero es de S/. 1200.

Tabla 58. Ahorro logrado en mensajería interna

Concepto	Monto (S/.)
Salario	14,400
Sueldo adicional recibido a mitad de año	1,200
Sueldo adicional recibido a fin de año	1,200
Costeo del 50% del almuerzo - Costo anual	720
Prima anual - Seguro contra Accidentes Personales	160
Utilidades (4.5 veces el sueldo aproximadamente)	5,400
Ahorro anual logrado por cada mensajero	23,080
Impuesto a la Renta	-6,924
Ahorro neto anual por cada mensajero	16,156

Elaboración propia

Considerando que la reducción de personal sería de cuatro a dos mensajeros, el ahorro anual logrado por la empresa sería:

$$\text{Ahorro total anual} = 16,156 * 2 = \text{S/. } 32,312$$

Adicionalmente, se deben tener en cuenta las mejoras de naturaleza cualitativa tal como el mayor control de la documentación enviada, ya que si bien este factor no puede ser cuantificado, constituye un elemento importante que determina el buen desempeño del área de mensajería interna.

4.2 Evaluación en mensajería externa

En la mensajería externa para medir el ahorro o beneficio que se generaría según el Algoritmo de *Clarke and Wright*, se tomó en cuenta el escenario más probable que es el escenario moderado.

A continuación se muestra la Tabla 59 donde figuran los tiempos y distancias anuales de la situación actual tomando en cuenta las distancias mostradas previamente en la Tabla 9.

Tabla 59. Distancias y tiempos anuales de la situación actual para mensajería externa

Situación actual – Escenario moderado					
Unidades de transporte	Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3	Unidad 4	Total anual
Distancia (km)	16,139.40	15,715.24	27,468.12	22,127.24	81,450.00
Velocidad (km/h)	40.94	40.94	40.94	40.94	
Tiempo recorrido (h)	394.21	383.85	670.92	540.46	1,989.44
Tiempo de espera (h)	792.00	792.00	792.00	792.00	
Tiempo total (h)	1,186.21	1,175.85	1,462.92	1,332.46	5,157.44

Elaboración propia

En la Tabla 60 se muestran las distancias óptimas y tiempos respectivos anuales según el algoritmo de *Clarke and Wright*.

Tabla 60. Distancias y tiempos anuales de la situación propuesta – Clarke and Wright

Situación propuesta – Escenario moderado					
Unidades de transporte	Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3	Unidad 4	Total anual
Rutas	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Ruta 4	
Distancia (km)	18,888.00	14,328.00	11,136.00	13,392.00	57,744.00
Velocidad (km/h)	40.94	40.94	40.94	40.94	
Tiempo recorrido (h)	461.34	349.97	272.00	327.10	1,410.41
Tiempo de espera (h)	792.00	792.00	792.00	792.00	
Tiempo total (h)	1,253.34	1,141.97	1,064.00	1,119.10	4,578.41

Elaboración propia

Luego, con las distancias totales mostradas en las Tablas 59 y 60, se calculó el gasto estimado tanto para la situación actual como para el modelo propuesto. Con

ello se pudo obtener el ahorro en nuevos soles que se puede generar con la aplicación del Algoritmo de *Clarke and Wright*.

Para el cálculo del gasto se consideraron los siguientes datos promedios que se muestran en la Tabla 61.

Tabla 61. Datos para el cálculo del gasto

Precio promedio de gasolina 95 (S/. / galón)	16.91
Rendimiento promedio (km / galón)	45.37
Mantenimiento promedio (S/. / km)	0.35

Elaboración propia

Con los datos de la Tabla 61 se calculó el gasto actual anual que se muestra en la Tabla 62 y el gasto estimado anual propuesto que se muestra en la Tabla 63.

Tabla 62. Gasto actual anual

Gasto actual anual - Escenario moderado			
Distancia (km)	81,450.00		
Combustible - 95	Precio (S/. / galón)	Cantidad de galones	Gasto anual (S/.)
	16.91	1,795.24	30,357.49
Mantenimiento	Precio (S/. / km)	Distancia	Gasto anual (S/.)
	0.35	81,450.00	28,507.50
Gasto total anual (S/.)			58,864.99

Elaboración propia

Tabla 63. Gasto estimado anual según *Clarke and Wright*

Gasto propuesto anual - Escenario moderado			
Distancia (km)	57,744.00		
Combustible - 95	Precio (S/. / galón)	Cantidad de galones	Gasto anual (S/.)
	16.91	1,272.44	21,591.95
Mantenimiento	Precio (S/. / km)	Distancia	Gasto anual (S/.)
	0.35	57,744.00	20,210.40
Gasto total anual (S/.)			41,732.35

Elaboración propia

La Tabla 64 muestra el ahorro anual en nuevos soles que se generaría aplicando el modelo propuesto, el cual representa una reducción del 29 % en los gastos de mensajería externa.

Tabla 64. Ahorro anual en combustible y mantenimiento

Ahorro (S/.)	
Combustible	8,836
Mantenimiento	8,297
Ahorro total anual (S/.)	17,133

Elaboración propia

Además del ahorro monetario, se generaría un ahorro en el total de horas empleadas anualmente para la realización del recorrido de la mensajería externa, dicho ahorro sería de 579.03 horas hombre anuales las cuales pueden ser invertidas en actividades de apoyo para el área de Servicios Generales.

4.3 Evaluación cuantitativa global

A continuación se presenta la Tabla 65 que resume los ahorros monetarios totales que se lograrían con la aplicación de las mejoras propuestas tanto para mensajería interna como externa.

Tabla 65. Ahorros totales del área de mensajería

	Mensajería externa	Mensajería interna	Ahorro total anual (S/.)
Ahorros anuales (S/.)	17,133	32,312	49,445

Elaboración propia

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En cuanto a la mensajería interna se puede concluir lo siguiente:

- El número de empleados contratados para mensajería interna resulta excesiva para la cantidad de documentación generada.
- Con una mejor organización del trabajo de los mensajeros, se puede reducir la cantidad de empleados necesarios para llevar a cabo el traslado de documentos de un edificio a otro dentro de la planta.
- El funcionamiento actual de la mensajería interna de la empresa resulta desfavorable tanto para la empresa, ya que incurre en costos innecesarios, como para los mensajeros, puesto que éstos realizan continuos recorridos durante todo el horario de trabajo.
- Si se pone en marcha el modelo propuesto, la empresa podría generar un ahorro anual de S/. 32,312.

En cuanto a la mensajería externa se concluye lo siguiente:

- El número de unidades de transporte necesarios para poder brindar el servicio debe ser de cuatro, ya que según los algoritmos aplicados, se pueden establecer cuatro rutas para atender los requerimientos de mensajería.
- Con las rutas establecidas se puede reducir el tiempo de recorrido, la distancia, incurrir en menos gasto de mantenimiento y de combustible. Además, dado que cada punto pertenece sólo a una ruta, se evitará que éste sea visitado por dos unidades de transporte distintas en un mismo día, con lo cual se evitará una pérdida de tiempo y dinero.
- Al asignar rutas a cada vehículo, se va a poder monitorear a cada unidad, de este modo se va a controlar el kilometraje y tiempo de traslado de cada unidad.

- Si se pone en marcha el modelo propuesto, la empresa podría lograr un ahorro de S/. 17,133 anuales y 579.03 horas-hombre en el escenario moderado.

5.2 Recomendaciones

- La empresa debería implementar las mejoras propuestas para el área de mensajería interna y externa, ya que el ahorro logrado con dichos modelos de funcionamiento podría ser utilizado por otras áreas que lo requieran.
- Una vez aplicado el modelo propuesto para el área de mensajería interna, es recomendable una revisión continua de la cantidad de documentos que se requieren enviar dentro de la empresa. Un incremento en dicha cantidad podría originar que el modelo propuesto requiera trabajar con más de dos mensajeros. Si ese fuera el caso, resultaría conveniente realizar la zonificación del área.
- Si fuese prioridad de la empresa la inmediatez de la entrega de los documentos en mensajería interna, resultaría conveniente realizar la zonificación del área y obtener rutas más pequeñas que sean asignadas a los mensajeros que se estimen necesarios.
- El área de mensajería externa debería llevar un control mensual del kilometraje de cada vehículo. De este modo se podría analizar e identificar posibles puntos de mejora.
- En el área de mensajería externa, para llegar a resolver el problema de ruteo de vehículos, se tuvo que despreciar muchos factores y variables que no son de vital importancia para la resolución del problema. El estudio se tiene que centrar en las variables claves, caso contrario se volvería tedioso y no se podría llegar al objetivo.
- Se sugiere analizar la implementación de una nueva flota de vehículos para el área de mensajería externa que usen GLP, de tal modo que se generaría mayor ahorro monetario y se reduciría la contaminación ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANKS, Jerry [et al.]

2010 *Discrete – Event System Simulation*. Quinta Edición. Montreal: Prentice Hall.

BESTERFIELD, Dale H.

1995 *Control de Calidad*. Cuarta Edición. Prentice Hall Hispanoamericana S.A.

CLARKE, G. y WRIGHT, W.

1962 “*Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points*”.

CÓRDOVA, Manuel

2006 *Estadística aplicada*. Lima: Moshera.

FÁBREGAS, Aldo; WADNIPAR, Rodrigo; PATERNINA, Carlos y MANCILLA, Alfonso

2003 *Simulación de sistemas productivos con ARENA*. Barranquilla: Ediciones Uninorte.

GILLET, B. y MILLER, L.

1974 “*A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem*”. *Operations Research* 22, 340-9.

KELTON, W. David; SADOWSKI, Randall; STURROCK, David

2004 *Simulation with Arena*. Cuarta Edición. New York: Mc Graw-Hill.

MENDENHALL, W y SINCICH, T.

1997 *Probabilidad estadística para ingeniería y ciencias*. Cuarta Edición. Prentice Hall.

OLIVERA, Alfredo

2004 *Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos*. Montevideo: Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.

RIOS, Sixto

1996 *El modelo de la Asignación. Investigación operativa: programación lineal y aplicaciones*. Madrid: Centro de Estudios Ramón Areces.

TORRES VEGA, Pedro Jesús.

2010 *Simulación de Sistemas con el software Arena*. Lima: Universidad de Lima.

WINSTON, Wayne

2005 *Investigación de Operaciones: Aplicaciones y Algoritmos*. Cuarta Edición. México, D. F: Editorial Thomson.

