



UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

MAESTRÍA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CON MENCIÓN EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTROS

TEMA:

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DESPACHO DE MERCADERÍA MEDIANTE VOICE PICKING EN EL CENTRO REGIONAL DE DISTRIBUCIÓN.

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Magister en Ingeniería Industrial con mención en Logística y Cadena de Suministro.

Autor

Ing. Aguirre Garrido Diego Fernando

Tutora

Ing. Topón Visarrea Blanca Liliana, MSc.

AMBATO – ECUADOR

2026

AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Aguirre Garrido Diego Fernando, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DESPACHO DE MERCADERÍA MEDIANTE VOICE PICKING EN EL CENTRO REGIONAL DE DISTRIBUCIÓN.”, como requisito para optar al grado de Magister en Ingeniería Industrial con mención en Logística y Cadena de Suministro y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI, podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Ambato a los 22 días del mes de mayo de 2026, firmo conforme:

Autor: Aguirre Garrido Diego Fernando



Firma:

Número de Cédula: 0401578760

Dirección: Pichincha, Quito, Solanda.

Correo Electrónico: diego.laguirre1991@gmail.com

Teléfono: 0958822768

APROBACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de directora del Trabajo de Titulación “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DESPACHO DE MERCADERÍA MEDIANTE VOICE PICKING EN EL CENTRO REGIONAL DE DISTRIBUCIÓN.” presentado por Aguirre Garrido Diego Fernando, para optar por el Título de Magister en Ingeniería Industrial con mención en Logística y Cadena de Suministro,

CERTIFICO

Que dicho Trabajo de Titulación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte los Examinadores que se designe.

Ambato, 22 de mayo del 2026

.....
Ing. Topón Visarrea Blanca Liliana, MSc.
DIRECTORA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Magister en Ingeniería Industrial con mención en Logística y Cadena de Suministro, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Ambato, 22 de mayo del 2026



.....
Diego Fernando Aguirre Garrido

C.C.: 040157876-0

APROBACIÓN DE EXAMINADORES

El Trabajo de Titulación ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DESPACHO DE MERCADERÍA MEDIANTE VOICE PICKING EN EL CENTRO REGIONAL DE DISTRIBUCIÓN, previo a la obtención del Título de Magister en Ingeniería Industrial con mención en Logística y Cadena de Suministro, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del Trabajo de Titulación.

Ambato, 22 de mayo del 2026

.....

Ing. Caceres Miranda Lorena Elizabeth; MSc
EXAMINADOR

.....

Ing. Pozo Espin Israel Alejandro; MSc
EXAMINADOR

DEDICATORIA

Esta tesis es un tributo a la colaboración de quienes día a día comparten sus vidas junto a la mía, quienes me acompañan en lo efímero de la vida, quienes sus risas y sus logros hacen que mi vida avance en un camino lleno de dicha, lo dedico desde lo profundo de mi corazón a mi esposa y mi hijo quien con su amor incondicional me dan fortaleza para seguir adelante. Gracias por llenar mi mundo de mucha felicidad.

Diego Aguirre

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar un afectuoso agradecimiento a Dios, quien, por medio de su inmensa misericordia, ha hecho posible que continúe mis estudios de posgrado. Él ha sido mi fuente de fortaleza y entendimiento durante este logro académico. Asimismo, agradezco profundamente a mis docentes, quienes, con los conocimientos impartidos, han sido pilares fundamentales en el desarrollo de esta tesis. Mi gratitud se extiende a la empresa TIA S.A., por brindarme la oportunidad de desarrollar esta investigación. La experiencia adquirida durante este proceso ha sido invaluable y me ha permitido aplicar mis conocimientos teóricos en un entorno práctico.

Gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
AUTORIZACIÓN PARA EL REPOSITORIO DIGITAL	ii
APROBACIÓN DEL DIRECTOR.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROBACIÓN DE EXAMINADORES	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
INDICE DE TABLAS.....	xi
INDICE DE FIGURAS	xii
INDICE DE ECUACIONES.....	xiv
RESUMEN EJECUTIVO	xv
ABSTRACT.....	xvi

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Introducción	1
Antecedentes	3
Justificación	5
Objetivos:	7
Objetivo General.....	7
Objetivo Específico.....	7

CAPÍTULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO

Diagnóstico de la situación actual de la empresa.....	8
Área de estudio	24
Modelo Operativo	25
Desarrollo del modelo operativo.....	25

CAPÍTULO III

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Presentación de la propuesta.....	45
Análisis comparativo de tecnologías de captura para preparación de pedidos	45
Componentes básicos del sistema — Hardware	47
Componentes del sistema — Software	53
Flujo de trabajo consolidado del sistema Voice Picking	59
Integración con el sistema de inventarios de la empresa	62
Aplicación de la propuesta.....	62
Resultados esperados	65
Cronograma de actividades.....	65
Análisis de costos.....	67
Curva S.....	68
Componente ambiental	68

CAPÍTULO IV

EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA Y RESULTADOS OBTENIDOS

Proceso de ejecución.....	70
---------------------------	----

Justificación de la ejecución	70
Desarrollo y seguimiento	70
Resultados obtenidos	76
Presentación de resultados obtenidos.....	76
Análisis estadístico.....	82
Evaluación de la ejecución.....	83
Análisis comparativo	83
Evaluación económica	84
Definición de la tasa de error residual	84
Discusión de la brecha entre la meta esperada y el resultado alcanzado en productividad.	86
Factor 1: Nivel elevado de la línea base	86
Factor 2: Horizonte temporal corto del análisis.....	86
Factor 3: Heterogeneidad del personal y corrección de prácticas inadecuadas	87
Factor 4: Naturaleza bidimensional del beneficio	87
Conclusión sobre la brecha	87
Análisis de la curva S.....	88

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones	90
Recomendaciones	91
Bibliografía	93

INDICE DE TABLAS

Tabla No. 1. Proceso de despacho.....	10
Tabla No. 2. Productividad mensual.	13
Tabla No. 3. Cantidad de incidencias y costos.	17
Tabla No. 4. Productividad y precisión actual del área.	18
Tabla No. 5. Matriz de criticidad de las tipologías de error.....	21
Tabla No. 6. Matriz causa crítica – contramedida.	23
Tabla No. 7. Área de estudio.....	24
Tabla No. 8. Resumen de comandos de voz.....	39
Tabla No. 9. Comparación de tecnologías de captura para preparación de pedidos.	46
Tabla No. 10. Comparación técnica de las bandas WiFi para aplicación de Voice Picking.	52
Tabla No. 11. Tabla resumen de equipamiento.	53
Tabla No. 12. Comparación técnica de motores de reconocimiento de voz.	55
Tabla No. 13. Especificaciones técnicas del software Voice Picking.....	57
Tabla No. 14. Detalle de inversión, software y hardware.....	67
Tabla No. 15. Factores de confusión que justifican la exclusión de noviembre y diciembre de 2025.	77
Tabla No. 16. Estadísticas descriptivas comparativas.	82
Tabla No. 17. Comparativo integral antes y después de la implementación.....	83
Tabla No. 18. Factores que explican la brecha entre el resultado esperado (10 %) y el alcanzado (5.2 %) en productividad.	86

INDICE DE FIGURAS

Figura No. 1. Cadena de suministros TIA S.A.....	10
Figura No. 2. Diagrama de Flujo área de despacho.....	12
Figura No. 3. Comportamiento de la productividad por mes.	13
Figura No. 4. Dispositivos PDT.....	14
Figura No. 5. Incidencias en la preparación de pedidos.	17
Figura No. 6. Diagrama de problemas (Ishikawa)	19
Figura No. 7. Modelo Operativo para la aplicación de la herramienta Voice Picking.....	25
Figura No. 8. Diagrama de flujo inicio de sesión.....	27
Figura No. 9. Ingreso a la función, preparación de pedidos.	29
Figura No. 10. Diagrama de flujo, preparación de pedidos de cajas.	31
Figura No. 11. Diagrama de flujo, preparación de pedidos Umds.	32
Figura No. 12. Diagrama de flujo, dejar en puerta.	33
Figura No. 13. Interfaz de pruebas Lydia Voice/WMS.....	35
Figura No. 14. Conceptos básicos del aplicativo.	36
Figura No. 15. Propuesta de aplicación Voice Picking.	36
Figura No. 16. Uso de equipos.....	37
Figura No. 17. Emparejamiento de equipos.....	37
Figura No. 18. Colocación de auriculares.	38
Figura No. 19. Ingreso al aplicativo.....	38
Figura No. 20. Reportaría de productividades.....	41
Figura No. 21. Dispositivos conectados en tiempo real.	42
Figura No. 22. Interacción del usuario - copilot.....	43
Figura No. 23. Propuesta por alcanzar.	44
Figura No. 24. Cinturón/arnés de portación del dispositivo.	51

Figura No. 25. Arquitectura para las pruebas realizadas.	59
Figura No. 26. Diagrama de flujo general del ciclo Llamada → Verificación → Acción → Cierre.	61
Figura No. 27. Diseño gráfico del proceso.	63
Figura No. 28. Desarrollo de interfaces WMS / Lydia.	63
Figura No. 29. Socialización y capacitación.	64
Figura No. 30. Puesta en marcha.	64
Figura No. 31. Cronograma de actividades.	66
Figura No. 32. Distribución de la inversión.	67
Figura No. 33. Curva S, avance acumulado del proyecto Voice Picking.	68
Figura No. 34. Captura del error Package Error en dispositivo TC52 durante el Go Live.	71
Figura No. 35. Capturas del error Undefined en el aplicativo Lydia Voice.	72
Figura No. 36. Interfaz de Lydia Voice en operación real — inicio de sesión y proceso de picking activo.	73
Figura No. 37. Estación de carga de baterías HS3100.	74
Figura No. 38. Check digitador instalado en las ubicaciones del almacén.	76
Figura No. 39. Evolución de la productividad del área de despacho, enero a octubre 2025.	79
Figura No. 40. Productividad mensual con Voice Picking estabilizado (Ago-Oct 2025).	80
Figura No. 41. Productividad diaria - agosto 2025 (Voice Picking estabilizado).	81
Figura No. 42. Comparativo de productividad por operario — PDT vs Voice Picking.	81
Figura No. 43. Comparativo de indicadores clave, PDT(Ene-Jun) vs Voice Picking (Ago-Oct).	83
Figura No. 44. Curva S — Avance acumulado del proyecto Voice Picking.	88

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	85
Ecuación_2	85
Ecuación_3	85

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

MAESTRÍA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CON MENCIÓN EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTROS

TEMA: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DESPACHO DE MERCADERÍA MEDIANTE VOICE PICKING EN EL CENTRO REGIONAL DE DISTRIBUCIÓN.

AUTOR(A): Ing. Aguirre Garrido Diego Fernando

TUTOR (A): MSc. Topón Blanca Liliana

RESUMEN EJECUTIVO

Problema: El área de despacho del Centro Regional de Distribución de TIA S.A. presentaba inconsistencias recurrentes en la preparación de pedidos mediante dispositivos PDT, asociadas principalmente con la dependencia de la digitación manual y la ausencia de verificación física obligatoria en cada etapa del proceso. Estas condiciones generaban errores como multidespacho, picado y no enviado, despacho en otra ubicación, diferencias de cantidad y mal en puerta, afectando la precisión del despacho y la confiabilidad del cliente interno. **Objetivo general:** optimizar el proceso de despacho mediante la aplicación de la herramienta Voice Picking, con el fin de aumentar la productividad y reducir los errores en la preparación de pedidos. **Método:** la investigación aplicó un enfoque operativo de comparación antes-después, sustentado en el análisis histórico de datos, Diagrama de Ishikawa, análisis de Pareto y matriz de criticidad para diagnosticar el proceso actual; posteriormente, se diseñó e implementó el flujo de Voice Picking mediante el aplicativo Lydia Voice, integrado al WMS Oracle a través de API REST en tiempo real, siguiendo cinco etapas: diagnóstico, diseño del proceso de voz, pruebas y capacitación, Go Live y evaluación de resultados. **Principales resultados:** la productividad aumentó de 208 a 218,88 bultos por hora-hombre, equivalente a una mejora del 5,2 %, mientras que la precisión pasó de 99,03 % a 99,90 %, con una reducción relativa del 89,7 % en la tasa de error residual. Además, 18 de los 20 operarios evaluados, equivalentes al 90 %, incrementaron su productividad individual. **Conclusión:** la aplicación de Voice Picking permitió optimizar el proceso de despacho, al reducir la dependencia de la digitación manual, fortalecer la trazabilidad operativa y mejorar simultáneamente la productividad y la precisión, por lo que constituye una alternativa técnica viable para controlar errores recurrentes en centros de distribución.

Palabras clave: Voice Picking, preparación de pedidos, productividad logística, precisión de despacho, WMS, centro de distribución.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTY OF ENGINEERING

Master's Degree in Industrial Engineering with major in Logistics and Supply Chain

AUTHOR: AGUIRRE GARRIDO DIEGO FERNANDO

TUTOR: MSc. TOPON VISARREA BLANCA LILIANA

THEME

OPTIMIZATION OF THE MERCHANDISE DISPATCH PROCESS THROUGH VOICE PICKING AT THE REGIONAL DISTRIBUTION CENTER

ABSTRACT

Problem: The dispatch area for the TIA S.A. Regional Distribution Center experienced recurring inconsistencies in order preparation using PDT devices, mainly associated with dependence on manual data entry and the lack of mandatory physical verification at each stage of the process. These conditions led to errors such as multiple dispatches, picked-but-not-shipped orders, dispatches to incorrect locations, quantity discrepancies, and incorrect door assignments, affecting dispatch accuracy and the reliability of the internal customer service. **General Objective:** To optimize the dispatch process through the implementation of the Voice Picking tool in order to increase productivity and reduce errors in order preparation. **Method:** The research applied an operational before-and-after comparison approach, supported by historical data analysis, the Ishikawa Diagram, Pareto Analysis, and a Criticality Matrix to diagnose the current process. Subsequently, the voice-picking workflow was designed and implemented through the Lydia Voice application, integrated with the Oracle WMS via real-time REST API technology. The implementation followed five stages: diagnosis, voice process design, testing and training, Go Live, and results evaluation. **Main Results:** Productivity improved from 208 to 218.88 packages per labor hour, reflecting a 5.2% increase. Additionally, accuracy increased from 99.03% to 99.90%, leading to an 89.7% relative decrease in the residual error rate. Furthermore, among the 20 evaluated operators, 18 saw improvements in their individual productivity, which accounts for 90%. **Conclusion:** The implementation of voice picking has optimized the dispatch process by reducing reliance on manual data entry, enhancing operational traceability, and improving both productivity and accuracy. Thus, it serves as a viable technical alternative for controlling recurring errors in distribution centers.

KEYWORDS: Dispatch accuracy, distribution center, logistics productivity, order picking, voice picking, WMS



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Introducción

La gestión logística contemporánea atraviesa un proceso de transformación digital impulsado por el paradigma de la Industria 4.0. Su aplicación específica al ámbito logístico se conoce como Logística 4.0 y se caracteriza por la integración de tecnologías digitales en los procesos de almacenamiento, preparación de pedidos y distribución (Perotti et al., 2025; Tubis & Rohman, 2023).

Dentro de este paradigma, los centros de distribución han incorporado tecnologías de captura de datos asistidas para optimizar el proceso de preparación de pedidos. Esta actividad es reconocida por la literatura como la más intensiva en mano de obra y en tiempo dentro de la operación de almacén (Dujmešić et al., 2018; Klumpp & Loske, 2021a). Entre estas tecnologías, el Voice Picking se ha consolidado como una de las soluciones de mayor crecimiento.

El Voice Picking, también denominado picking por voz, sustituye la lectura de pantalla y la digitación manual por la transmisión auditiva de instrucciones al operario y la confirmación verbal de cada acción ejecutada (Goomas & Ludwig, 2023). El mercado global de soluciones de Voice Picking alcanzó un valor de 2.47 mil millones de dólares en 2023, con una tasa de crecimiento anual compuesta proyectada del 15.3 % entre 2024 y 2030, impulsada principalmente por el sector retail y el comercio electrónico (Grand View Research, 2024).

Estudios cuantitativos en almacenes de gran escala reportan que la sustitución de los métodos basados en radiofrecuencia (RF) por Voice Picking incrementa la productividad del operario entre el 15 % y el 30 %. Asimismo, reduce los errores de despacho en proporciones que oscilan entre el 25 % y el 80 %, según la línea base de partida (Honeywell, 2022). La adopción de la tecnología se concentra en sectores donde la trazabilidad y la velocidad son críticas, principalmente alimentos, farmacia, retail y consumo masivo (Goomas & Ludwig, 2023).

En el ámbito latinoamericano, la adopción del Voice Picking ha avanzado de manera reciente y desigual, en correspondencia con el proceso de modernización progresiva de los centros de distribución regionales. Reportes del sector indican que los países de la región andina y el cono sur registran un crecimiento sostenido de la inversión en automatización y digitalización logística durante los últimos tres años (STG Latam, 2024). Este crecimiento responde a la necesidad de mantener competitividad frente al avance del comercio electrónico y los nuevos estándares de servicio al cliente.

En Ecuador, el caso más documentado corresponde a la empresa Farmaenlace, una de las mayores cadenas farmacéuticas del país. Esta organización implementó un sistema integrado de WMS con solución de voz para la preparación de pedidos en sus centros de distribución, con resultados favorables en precisión y continuidad operativa (Inveligent, 2023). En el sector industrial, la empresa ecuatoriana Graiman integró un motor de reconocimiento de voz con su sistema de gestión de almacenes y registró mejoras en productividad y reducción de errores (Mecalux, 2022).

A nivel micro, en el Centro Regional de Distribución de Tiendas Industriales Asociadas TIA S.A., la operación de despacho se ejecuta mediante dispositivos PDT (Personal Digital Terminal) integrados al sistema de gestión de almacenes. En este modelo, el operario digita manualmente la confirmación de ubicación, la cantidad recolectada y la puerta de despacho asignada. El registro histórico operativo del centro evidencia la presencia recurrente de inconsistencias en la preparación de pedidos, entre las que se identifican el multidespacho, el picado y no enviado, el despacho en otra ubicación y los errores en cantidades.

En este contexto, el presente trabajo de titulación aborda el análisis, diseño y aplicación de la herramienta Voice Picking en el área de despacho del Centro Regional de Distribución de TIA S.A. La caracterización detallada del problema y la jerarquización cuantitativa de las tipologías de error se desarrollan en el Capítulo II. La estructura del estudio comprende cinco capítulos que avanzan desde el diagnóstico inicial hasta la evaluación de los resultados obtenidos.

Antecedentes

El Voice Picking se define técnicamente como un sistema de preparación de pedidos sin papel, con manos libres y sin necesidad de mirar pantallas. El operario recibe instrucciones auditivas a través de auriculares conectados a un dispositivo móvil y confirma la ejecución de cada paso mediante respuestas verbales captadas por un micrófono y procesadas por un motor de reconocimiento de voz (Goomas & Ludwig, 2023; Mecalux, 2022).

El sistema opera en sincronización con el sistema de gestión de almacenes (WMS), que define la ruta de picking, la secuencia de ubicaciones, las cantidades por SKU y las verificaciones intermedias. Entre estas verificaciones destaca el check digit o check digitador, un código numérico asignado a cada ubicación que el operario debe dictar verbalmente para confirmar su presencia física en el punto correcto antes de proceder con la recolección (Lucas Systems, 2023). Este mecanismo es central para la prevención de errores de ubicación.

Frente a los métodos alternativos como paper picking, RF terminal picking, pick to light y pick by vision, el Voice Picking presenta ventajas comparativas documentadas en la literatura científica. Klumpp & Loske (2021) reportan que la combinación de pick to light con voz acelera el proceso en un 19 % y reduce errores en un 67 %. Por su parte, Dujmešić et al.(2018) muestran que la sustitución del RF picking por Voice Picking eleva la productividad y reduce el tiempo de capacitación del personal nuevo.

Goomas & Ludwig (2023) evidencia que la incorporación de procesamiento de lenguaje natural en sistemas dirigidos por voz mejora la ergonomía operativa y reduce la fatiga cognitiva del operario en jornadas extensas. Una revisión sistemática reciente sobre Warehouse 4.0 ubica al Voice Picking entre las tecnologías de adopción más rápida en almacenes inteligentes durante el periodo 2018-2023 (Tubis & Rohman, 2023).

La evidencia empírica converge en que el Voice Picking produce mejoras simultáneas en productividad y calidad. Una encuesta sectorial conducida por VDC Research (2021) sobre organizaciones

que adoptaron soluciones dirigidas por voz reportó un incremento promedio del 15.6 % en la productividad del operario. Honeywell, a través de su solución Vocollect, reporta consistentemente niveles de precisión del 99.99 % y reducciones de errores cercanas al 80 % en operaciones de retail y consumo masivo (Honeywell, 2022).

A continuación, se documentan tres casos de aplicación relevantes para contextualizar el presente trabajo. El primero corresponde al Gruppo DAO/CONAD en Italia, operador de retail alimentario con más de 300 puntos de venta en la región del Trentino Alto Adige. La implementación de la solución ZetesMedea Voice en su centro de distribución reportó un incremento del 20 % en la productividad operativa y una reducción del 17 % en los costos de picking (Zetes, 2022). La similitud con el caso de TIA S.A. radica en el sector de consumo masivo, la operación de un centro regional que abastece a una red extensa de puntos de venta y la lógica de picking de alta frecuencia.

El segundo caso corresponde a Farmaenlace, una de las principales cadenas farmacéuticas del Ecuador. Esta empresa integró un sistema WMS con solución de voz para la preparación de pedidos en sus centros de distribución, con resultados favorables en exactitud del despacho, productividad por turno y continuidad operativa (Inveligent, 2023). El caso es particularmente comparable con el presente estudio por la coincidencia geográfica, el sector de consumo masivo y la lógica de centros regionales de distribución.

El tercer caso es el de Graiman, empresa ecuatoriana del sector cerámico que aplicó Voice Picking integrado con su WMS. La integración con sistemas de gestión de almacenes en tiempo real permitió optimizar los flujos de trabajo, acelerar los tiempos de despacho y reducir las entregas incorrectas (Mecalux, 2022). Aunque su sector es distinto al retail de consumo masivo, comparte con TIA S.A. el contexto operativo ecuatoriano y la necesidad de gestionar volúmenes elevados con alta exactitud.

Estos antecedentes, tanto académicos como sectoriales, constituyen la base conceptual y empírica sobre la cual se sustenta la pertinencia y la viabilidad de aplicar Voice Picking en el Centro Regional de Distribución de TIA S.A.

Justificación

Importancia. El estudio aborda una problemática operativa con incidencia directa sobre la productividad y la calidad del servicio del Centro Regional de Distribución de TIA S.A. La preparación de pedidos constituye un eslabón crítico de la cadena de suministro, dado que la literatura señala que esta actividad concentra la principal fuente de errores que se propagan aguas abajo en forma de discrepancias de inventario, devoluciones y rupturas de stock en el punto de venta (Klumpp & Loske, 2021a).

La aplicación del Voice Picking ataca directamente la causa estructural identificada en el diagnóstico, esto es, la dependencia de la digitación manual sobre dispositivos PDT, al sustituirla por una interacción guiada por voz con verificación obligatoria en cada paso, en línea con las prácticas de la Logística 4.0 (Perotti et al., 2025).

Impacto. La intervención impacta de forma simultánea sobre tres dimensiones del desempeño del área. En la dimensión productiva, eleva la cantidad de bultos despachados por hora-hombre al eliminar las pausas asociadas a la lectura de pantalla y la digitación, ganancia documentada en un rango del 15 % al 30 % en estudios de campo (Goomas & Ludwig, 2023).

En la dimensión de calidad, reduce la tasa de error residual del despacho mediante la introducción del check digitador y la confirmación dígito por dígito de cantidades, con reducciones reportadas del orden del 67 % al 80 % respecto a métodos basados en escaneo (Mecalux, 2022). En la dimensión económica, disminuye los costos por reprocesos, devoluciones y ajustes de inventario, así como los costos indirectos asociados a la insatisfacción del cliente interno.

Utilidad. Desde la perspectiva práctica, el trabajo entrega un modelo operativo replicable de cinco etapas (diagnóstico, diseño del proceso de voz, pruebas y capacitación, Go Live y evaluación) que documenta la implantación del Voice Picking en un centro regional de distribución del sector retail ecuatoriano.

La utilidad del estudio se manifiesta para la empresa, que dispone de una hoja de ruta validada para extender la solución a otros centros y secciones del almacén. Del mismo modo, aporta a la comunidad académica e industrial un caso aplicado en un mercado emergente, segmento poco representado en la literatura especializada, dominada por casos europeos y norteamericanos (Tubis & Rohman, 2023).

Beneficiarios. El estudio identifica beneficiarios directos e indirectos. Los beneficiarios directos son los operarios del área de despacho del centro de distribución, quienes reciben instrucciones auditivas claras y trabajan con manos libres, lo que mejora su ergonomía y reduce la carga cognitiva (Goomas & Ludwig, 2023). La gerencia del centro se beneficia de la disposición de información operativa en tiempo real, insumo para la toma de decisiones y la mejora continua. Los beneficiarios indirectos son los locales de la red TIA S.A., que reciben pedidos con mayor exactitud y consistencia, y, en último término, el cliente final, que percibe disponibilidad oportuna del producto en el punto de venta.

Factibilidad. La propuesta es factible desde tres perspectivas. La factibilidad técnica está respaldada por la disponibilidad de la infraestructura WiFi del centro operando en la banda de 5 GHz, por la integración nativa entre el aplicativo Lydia Voice y el WMS Oracle a través de API REST en tiempo real, y por la robustez certificada del hardware seleccionado para entornos de almacén.

La factibilidad operativa se sustenta en que el motor de reconocimiento de voz no requiere calibración previa por usuario, lo que reduce los tiempos de incorporación de personal y permite una capacitación de corta duración, atributo confirmado en implementaciones análogas (Inveligent, 2023).

La factibilidad económica se justifica por la magnitud de los costos asociados a las incidencias actuales y por el carácter no recurrente de una parte significativa de la inversión, lo que mejora el horizonte de retorno en futuras réplicas a otros centros de la red.

Objetivos:

Objetivo General

Optimizar el proceso de despacho mediante la aplicación de la herramienta Voice Picking, para aumentar la productividad y reducir errores en el proceso.

Objetivo Específico

1. Analizar el desempeño del proceso actual mediante el análisis histórico de datos, con el fin de detectar fallos y oportunidades que mejoren el proceso productivo.
2. Aplicar la herramienta Voice Picking en el área de despacho para mejorar la precisión y eficiencia en la preparación de pedidos.
3. Minimizar los errores en los despachos por parte de los operarios, asegurando una mayor precisión en el área, mediante los ajustes necesarios para incrementar la productividad.

CAPÍTULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO

Diagnóstico de la situación actual de la empresa

Tiendas Industriales Asociadas TIA S.A., es una empresa dedicada a la comercialización de productos de consumo masivo, cuya gestión abarca desde la adquisición de productos terminados hasta su distribución en los diferentes puntos de venta. La cadena logística de la compañía opera bajo un sistema integral en las áreas involucradas en el proceso de despacho, que inicia con la recepción de la mercadería proveniente de proveedores, continúa con el almacenamiento, la preparación, despacho de pedidos y finaliza con el envío hacia los locales a nivel nacional. Cada una de estas etapas es importante para asegurar un proceso de abastecimiento continuo y eficiente, capaz de responder a las necesidades y expectativas del cliente, las cuales son detalladas a continuación:

- **Recepción**

En el área de recepción, la mercadería proveniente de proveedores es recibida en el Centro Regional de Distribución, donde se realiza un control operativo, inspección, control de calidad, para asegurar la conformidad de los productos. En esta fase incluye la verificación documental, física y el registro mediante sistemas informáticos. Cabe recalcar que la correcta recepción de los productos evita errores y permite un flujo ordenado en el CD.

- **Almacenamiento**

En el área de almacenamiento, los productos se organizan en distintas categorías o secciones tales como: alimentos, bebidas, productos para bebés, textiles, electrodomésticos, mascotas, Otc y artículos de temporada. Esta división ayuda mucho para manejar el inventario de manera ordenada y encontrar los productos con rapidez dentro del Centro de Distribución. Así se evitan pérdidas de tiempo y se optimizan los recorridos del personal en el almacén. Para evitar que ciertos productos se acumulen y que otros falten,

se utiliza una técnica llamada método ABC, que permite darle mayor atención a los artículos más importantes según su valor o la frecuencia con la que se venden.

- **Despacho (Preparación de pedidos)**

En el área de despacho, la preparación de pedidos representa una fase esencial dentro de la cadena logística, ya que permite organizar y gestionar los productos solicitados por los clientes para su envío. Durante la operación, el sistema WMS, valida en tiempo real la disponibilidad del inventario y determina la ruta de picking más eficiente. Con esta información, el operario se dirige a la ubicación indicada, confirma los datos del picking, el contenedor asignado y la cantidad de cajas o unidades que debe trasladarse en el caddie, registrando cada producto en la etiqueta genérica correspondiente a la unidad logística. Este procedimiento se repite en cada punto de recolección hasta completar el pedido. Completado la solicitud el usuario se dirige a la puerta de despacho señalada por el sistema, concluyendo así la operación.

- **Transporte (Despacho de pedidos)**

En el área de transporte, el despacho de pedidos se basa en la planificación detallada de rutas para optimizar el tiempo y los recursos, una vez que la mercadería se coloca en la puerta de salida (andenes), los operarios revisan y organizan cuidadosamente los productos, asegurando que cada unidad esté correctamente asimilada e identificada para su traslado, como se presenta en la Figura No. 1. Posteriormente, se procede a la carga de los camiones, siguiendo el orden establecido para cada ruta, lo que permite un envío eficiente y seguro hacia los distintos locales, garantizando la integridad de la mercadería y el cumplimiento de los tiempos de entrega.

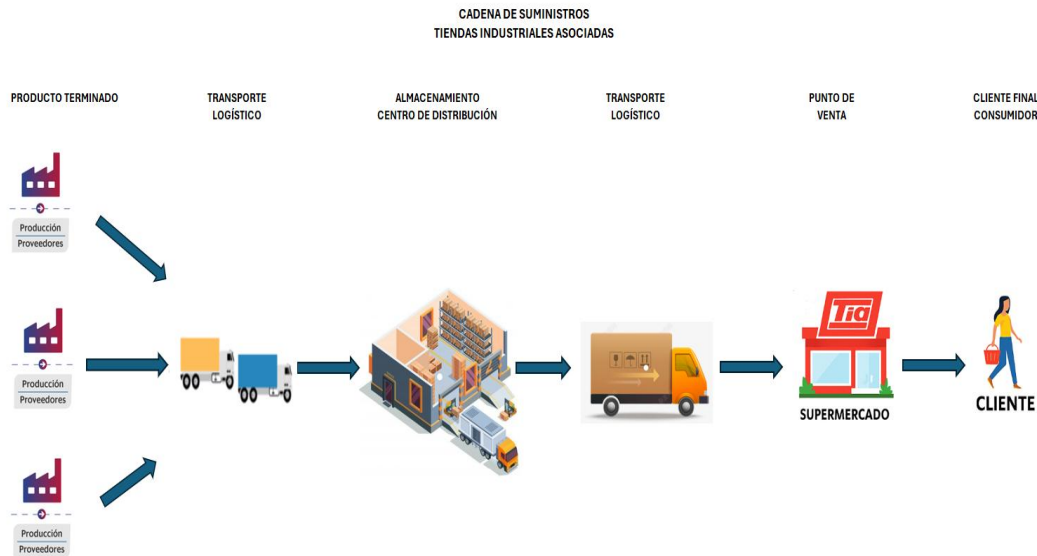


Figura No. 1. Cadena de suministros TIA S.A.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Proceso actual del área de despacho

A continuación, en la Tabla No. 1 y Figura No. 2, se detalla el proceso actual del área del despacho, del cual se muestran las actividades que ejecuta el operador con la preparación de pedidos.

Tabla No. 1. Proceso de despacho

No	Actividad	Descripción	Responsable
1.	Registrar equipo, ubicación y actividad	Se debe registrar en el sistema el equipo a utilizar, la ubicación donde se encuentra el usuario y las actividades a realizar (Picking de cajas, UMD). Con esta información el sistema genera la ruta de las tareas que el usuario debe realizar. ➤ <u>Picking cajas o UMD:</u> Ir a la actividad 2. ➤ <u>Picking bulk:</u> Ir a la actividad 3.	Trabajador Operativo/ WMS
2.	Registrar caddies a utilizar.	Se debe registrar las etiquetas genéricas de los caddies que van a utilizar en las tareas de picking.	Trabajador Operativo/ WMS
3.		El usuario debe trasladarse a la ubicación sugerida por el sistema para tomar el contenedor indicado. En caso de realizar picking bulk (Palet completo), y que se desee tomar otro contenedor que se encuentre en la ubicación sugerida	Trabajador Operativo/ WMS

No	Actividad	Descripción	Responsable
	Trasladarse a la ubicación de picking (origen)	por el sistema, se puede utilizar la opción ‘swaping’ de contenedor, la cual consiste en tomar otro contenedor al sugerido en el sistema siempre y cuando cumpla con las condiciones: - Misma ubicación - Mismo artículo - Misma cantidad de unidades del artículo ¿Se encuentra contenedor en ubicación sugerida? ➤ Si: Ir a la actividad 5. ➤ No: Ir a la actividad 4.	
4.	Comunicar diferencias contenedor ubicación.	Se debe comunicar al auxiliar de unidad de control para que marque la ubicación como conteo cíclico y poder realizar el ajuste correspondiente.	Trabajador Operativo/ Unidad de control
5.	Confirmar ubicación, contenedor y cantidad	Se debe confirmar la ubicación, el contenedor y la cantidad de cajas a trasladar al caddie y confirmar el caddie al que se está trasladando los artículos. ¿Existen más tareas de picking pendientes? ➤ Si: Ir a la actividad 3. ➤ No: Ir a la actividad 6.	Trabajador Operativo/ WMS
6.	Trabajador Operativo/WMS	Una vez finalizadas las tareas de picking el usuario debe trasladar los contenedores a la puerta de despacho sugerida por el sistema.	Trabajador Operativo/ WMS

Elaborado por: Aguirre, Diego (2025)

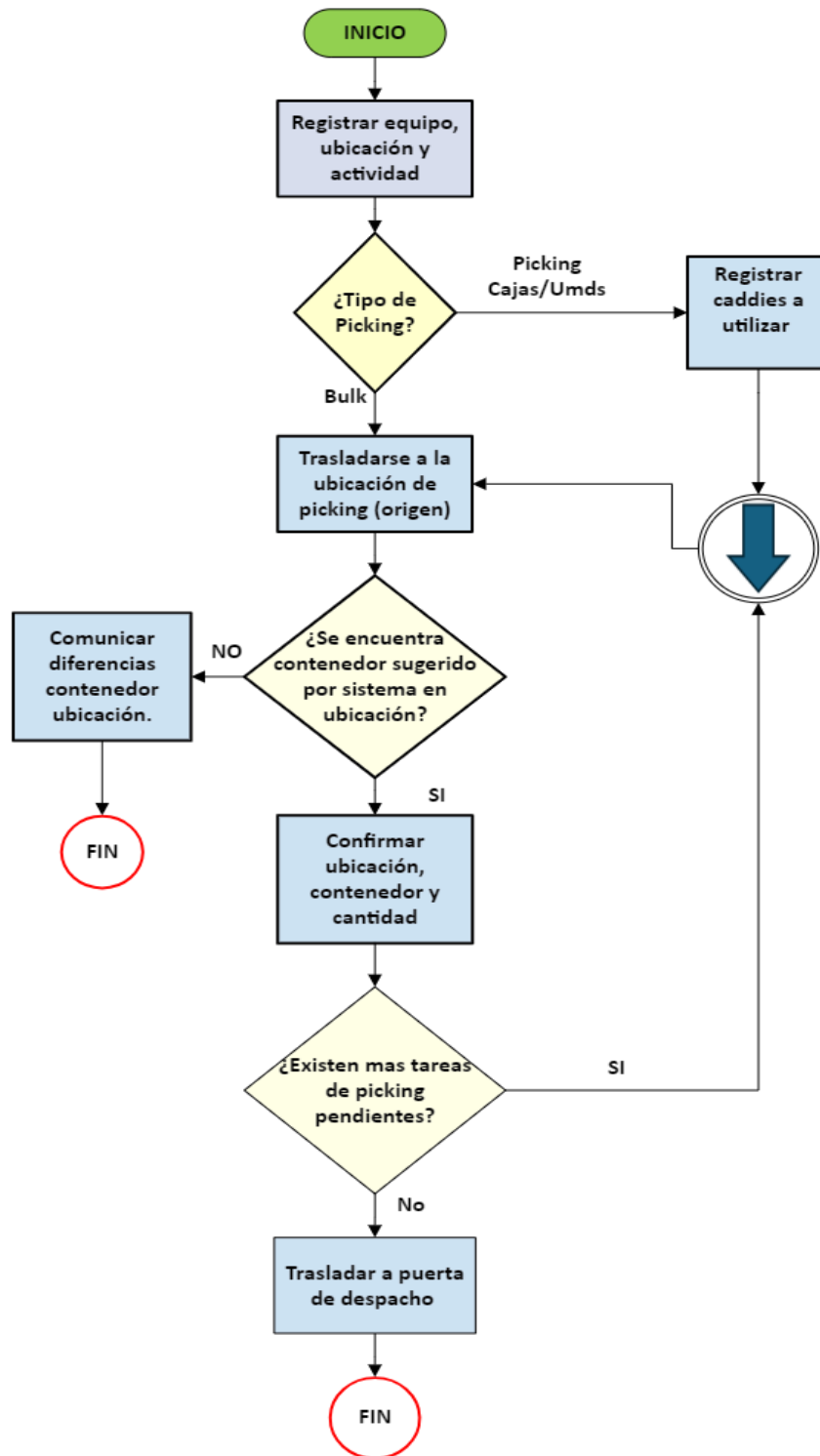


Figura No. 2. Diagrama de Flujo área de despacho.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Productividad actual y errores dentro del despacho

A continuación, en la Tabla No. 2, se presenta un análisis de la productividad del área de despacho durante el periodo comprendido entre enero y junio del año 2025. El indicador utilizado mide la cantidad de bultos despachados en relación con el tiempo total empleado.

En la Figura No. 3 se observa el comportamiento mensual de la productividad del área de despacho con PDT (Figura No. 4). Los resultados muestran valores entre 200 y 214 Bul/HH durante el periodo enero-junio de 2025. Asimismo, el promedio mensual alcanza 208 Bul/HH, valor superior a la meta establecida de 200 bultos por hora-hombre.

Tabla No. 2. Productividad mensual.

FECHA	BUL / HR
ENERO	206
FEBRERO	207
MARZO	207
ABRIL	214
MAYO	212
JUNIO	200
PROMEDIO MENSUAL	208

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

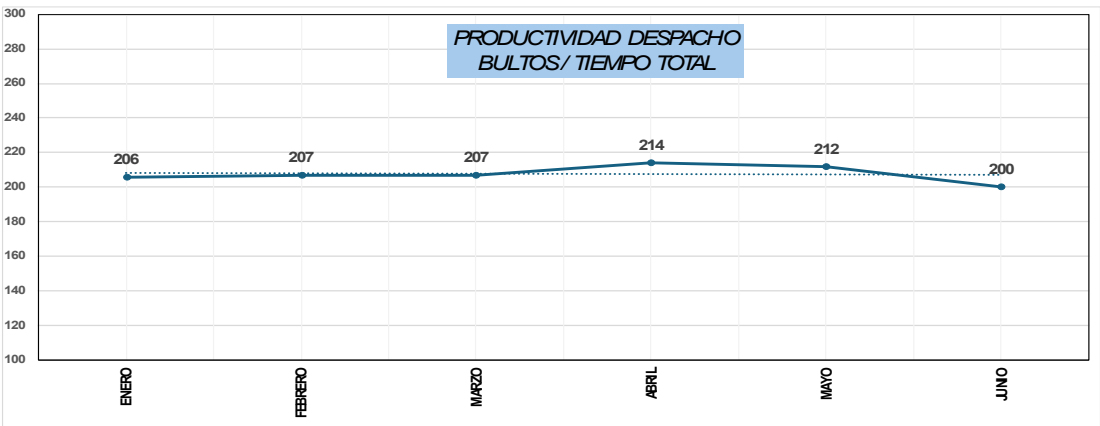


Figura No. 3. Comportamiento de la productividad por mes.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).



Figura No. 4. Dispositivos PDT
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

El indicador agregado de productividad cumple la meta operativa del área, sin embargo, no captura la naturaleza ni la magnitud de las inconsistencias asociadas a la preparación de pedidos. Para identificar y analizar dichas inconsistencias de forma estructurada, se aplica el Diagrama de Ishikawa, también denominado diagrama de causa y efecto o diagrama de espina de pescado. Esta herramienta es reconocida como una de las siete herramientas básicas de la calidad y constituye un instrumento estandarizado para el análisis de causa raíz en procesos industriales y logísticos.

El Diagrama de Ishikawa permite organizar de forma jerárquica las causas potenciales de un problema. En su configuración clásica de seis ramas (6M), las causas se agrupan en las categorías de método, mano de obra, máquina, materiales, medición y medio ambiente, lo que facilita un análisis sistémico que abarca tanto factores técnicos como organizacionales. La aplicación de esta herramienta en entornos logísticos contemporáneos se documenta en estudios recientes sobre Warehouse 4.0 y mejora continua en cadenas de suministro.

Para superar la limitación descriptiva del Diagrama de Ishikawa, esto es, su capacidad de identificar causas sin priorizarlas, la literatura recomienda complementarlo con dos herramientas analíticas. La primera es el análisis de Pareto, fundamentado en el principio del 80/20, que permite cuantificar el peso relativo de

cada causa y separar las causas vitales de las causas triviales (Klumpp & Loske, 2021b). La segunda es la construcción de una matriz de criticidad inspirada en el método de Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (FMEA), que combina los criterios de severidad, ocurrencia y detectabilidad para calcular un Número de Prioridad de Riesgo (NPR) por causa (IEC, 2018).

En el presente trabajo se aplica esta secuencia metodológica de tres etapas, esto es, identificación de causas mediante el Diagrama de Ishikawa, priorización por frecuencia e impacto económico mediante análisis de Pareto, y jerarquización por criticidad mediante una matriz inspirada en FMEA. El resultado permite identificar la causa raíz transversal y orientar el diseño técnico de la propuesta de solución, expuesta en el Capítulo III.

Tipos de novedades encontradas en el proceso actual

A continuación, se presentan las siete tipologías de error registradas por la Unidad de Control de Calidad del Centro Regional de Distribución durante el periodo de análisis. La descripción de cada tipología constituye la base empírica para la posterior construcción del Diagrama de Ishikawa.

➤ Multidespacho

Esta tipología se produce cuando un operario, en el contexto de la preparación simultánea de pedidos destinados a varios locales, asigna mercadería a una unidad logística (caddie) distinta de la indicada por el sistema. El error genera un desfase entre la asignación lógica registrada en el sistema y la asignación física observable en el caddie, lo que se traduce en una entrega incorrecta al local de destino.

➤ Picado y no enviado

Esta inconsistencia se manifiesta cuando el operario confirma en el dispositivo PDT la recolección de un producto sin que dicha acción se ejecute físicamente. Esto sucede cuando el operario digita la confirmación de cantidades por anticipado o cuando confía exclusivamente en su memorización del pedido, sin contrastar la acción con la realidad operativa.

➤ **Despacho otra ubicación**

En esta tipología, el operario toma la mercadería desde una ubicación distinta a la asignada por el sistema, sin que dicha sustitución cuente con autorización ni con un mecanismo de verificación. La práctica genera discrepancias entre los registros de inventario por ubicación y los movimientos físicos reales, lo que afecta la trazabilidad del stock.

➤ **Usuario menos**

Esta categoría describe los casos en los que el operario despacha una cantidad inferior a la solicitada por el sistema. El sistema registra la cantidad indicada, pero el operario coloca físicamente un número menor de unidades en el caddie, lo que produce un faltante en la entrega al local.

➤ **Usuario mas**

En contraposición a la tipología anterior, esta corresponde a los casos en los que el operario despacha una cantidad superior a la solicitada. El excedente genera un consumo no planificado de inventario y, eventualmente, una devolución desde el local de destino.

➤ **Error Cajas /Umds**

Esta categoría agrupa los casos en los que el operario confunde la unidad de medida solicitada por el sistema. Cuando el sistema requiere una cantidad expresada en UMD (Unidad de Medida de Despacho), el operario despacha una caja completa, o, de manera inversa, cuando se solicita una caja, el operario despacha una sola UMD. El error nace de la similitud visual entre los formatos de embalaje y de la ausencia de un mecanismo de validación dimensional.

➤ **Mal en puerta**

Esta tipología se produce en la fase final del proceso, cuando el operario coloca los caddies en una puerta de despacho distinta a la asignada por el sistema. La consecuencia operativa es que productos

correctamente recolectados terminan siendo cargados en un camión cuya ruta no corresponde al local de destino.

Las frecuencias y costos asociados a cada tipología se presentan en la Tabla No. 3 y constituyen el insumo cuantitativo del análisis de Pareto desarrollado en los apartados siguientes.

Tabla No. 3. Cantidad de incidencias y costos.

TYPE_ERROR	# DE INCIDENCIAS	%TG #DE INCIDENCIAS	INCIDENCIA COSTO	%TG INCIDENCIAS (COSTO)
Mal En puerta	516	24%	\$13.03	31%
Picado y No Enviado	472	22%	\$7.51	18%
Multidespacho	424	20%	\$7.84	19%
Usuario Menos	276	13%	\$4.41	11%
Despacho Otra Ubicación	192	9%	\$4.13	10%
Usuario Mas	187	9%	\$3.11	7%
Enviado y no Picado	43	2%	\$1.53	4%
Error Caja/UMD	7	0%	\$325	1%
Total	2117	100%	\$41.89	100%

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

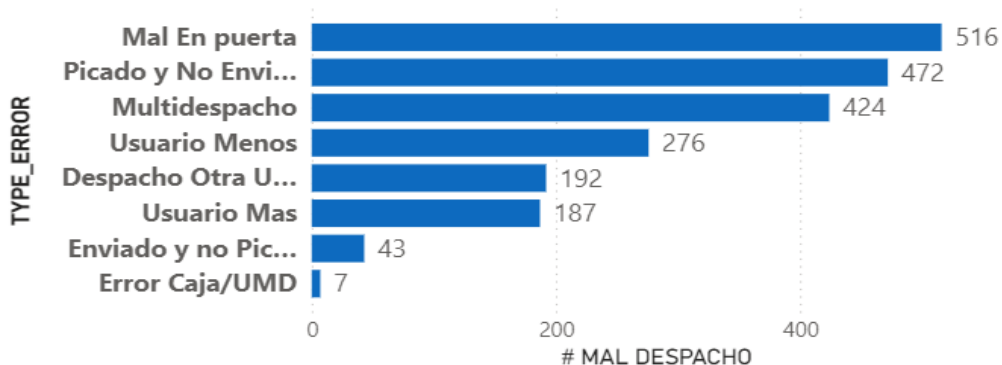


Figura No. 5. Incidencias en la preparación de pedidos.

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Considerando la cantidad de errores es posible determinar la productividad y precisión actual del área, misma que se presenta en la Tabla No. 4.

Tabla No. 4. Productividad y precisión actual del área.

Productividad y Precisión actual	
208 bultos / Hora hombre	99.03 % precisión

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

A partir de las tipologías descritas, se construye el Diagrama de Ishikawa presentado en la Figura No. 6. Las causas se distribuyen en las seis ramas tradicionales del método, con la siguiente caracterización técnica.

Método. Esta rama agrupa los errores asociados a la ejecución del procedimiento operativo. Incluye el multidespacho, el picado y no enviado y el despacho en otra ubicación. En los tres casos, el operario completa la confirmación lógica en el dispositivo PDT sin que esta corresponda a la acción física ejecutada, debido a la ausencia de pasos obligatorios de verificación dentro del flujo procedimental.

Mano de obra. Esta rama corresponde a las causas atribuibles al operario y a sus prácticas. Comprende el usuario menos, el usuario más y el error en cajas y UMD. La raíz común consiste en la falta de coincidencia entre la cantidad digitada en el dispositivo y la cantidad efectivamente colocada en el caddie, situación que el procedimiento actual no impide.

Máquina y sistema. Esta rama recoge las limitaciones del dispositivo PDT y del software asociado. El dispositivo registra como válida la información digitada por el operario sin contrastarla con la realidad física, no emite alertas preventivas ante patrones de error y opera bajo total dependencia de la digitación manual. La validación de cantidades en tiempo real es inexistente.

Materiales. Esta rama incluye las condiciones físicas de la mercadería que dificultan la verificación visual. La similitud entre los embalajes de cajas y UMD aumenta la probabilidad de error en la selección, y la ausencia de marcas diferenciadoras visuales eleva el riesgo de despacho cruzado entre productos similares.

Medio. Esta rama abarca las condiciones del entorno operativo. Incluye el error de mal en puerta, donde la asignación de caddie a puerta queda condicionada por la digitación, y la presión por tiempos, que incentiva la aceleración del procedimiento y favorece la omisión de pasos de verificación.

Medición. Esta rama agrupa las debilidades de control y retroalimentación. La trazabilidad del error es limitada, dado que el sistema registra como correcta la digitación, lo que impide identificar de forma oportuna el punto del proceso en el que se produjo la desviación. Adicionalmente, no existe retroalimentación inmediata al operario que permita corregir la acción antes de su consolidación.

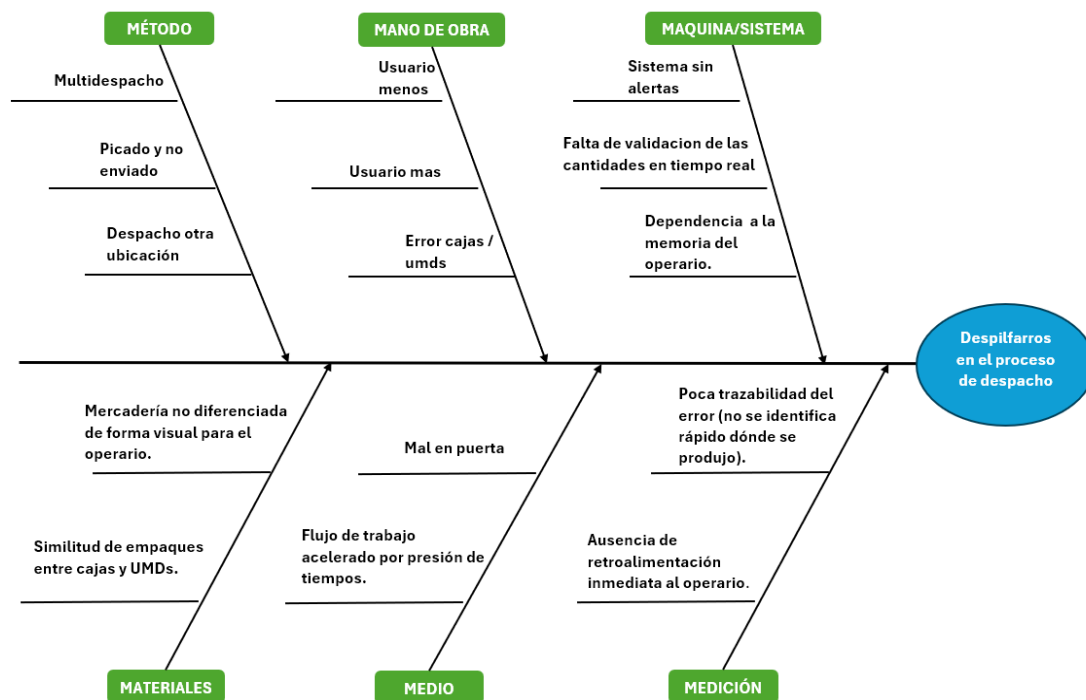


Figura No. 6. Diagrama de problemas (Ishikawa)
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Jerarquización de causas mediante análisis de Pareto

El Diagrama de Ishikawa identifica las causas potenciales del problema, pero no establece prioridades de intervención. Para superar esta limitación, se aplica el análisis de Pareto sobre los datos cuantitativos consolidados en la Tabla No. 3, que reporta la frecuencia y el costo asociado a cada tipología de error

durante el periodo mayo a julio de 2025. El procedimiento sigue la metodología clásica del principio 80/20, ampliamente utilizada en gestión de la calidad y mejora continua.

El ordenamiento descendente por frecuencia evidencia que tres tipologías de error concentran el 66 % del total de incidencias. Estas son mal en puerta con un 24 %, picado y no enviado con un 22 % y multidespacho con un 20 %. El ordenamiento descendente por costo confirma que las mismas tres tipologías acumulan el 68 % del impacto económico, con valores respectivos del 31 %, 18 % y 19 %.

La convergencia entre la curva de frecuencia y la curva de costo es un indicio robusto. Cuando dos ordenamientos independientes coinciden en señalar las mismas categorías como dominantes, se confirma que dichas categorías constituyen las causas vitales en el sentido de Pareto. Una intervención focalizada sobre estas tres tipologías produce el mayor retorno operativo posible.

Las cinco tipologías restantes (usuario menos, despacho en otra ubicación, usuario más, enviado y no picado, y error caja/UMD) acumulan el 34 % de la frecuencia y el 32 % del costo. Si bien deben atenderse, su tratamiento se subordina a la resolución de las tres causas vitales y se incluye como beneficio colateral de la solución propuesta.

Matriz de criticidad

El análisis de Pareto se complementa con una matriz de criticidad inspirada en la metodología FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), estandarizada internacionalmente por la norma IEC 60812:2018 y ampliamente aplicada en industria, logística y manufactura para priorizar modos de falla. La matriz integra tres criterios de evaluación (Akula & Salehfar, 2021).

El primer criterio es la severidad (S), que cuantifica el impacto económico de cada tipología sobre la operación. Se asigna un valor en escala de 1 a 5, donde 1 representa impacto bajo y 5 representa impacto crítico. La asignación se sustenta en el porcentaje de costo total registrado en la Tabla No. 3.

El segundo criterio es la ocurrencia (O), que cuantifica la frecuencia de aparición de cada tipología. Se asigna en escala de 1 a 5 sobre la base del porcentaje de incidencias registrado.

El tercer criterio es la detectabilidad (D), que cuantifica la facilidad con la que el sistema actual basado en PDT puede advertir la incidencia antes de su consolidación. Se asigna en escala inversa de 1 a 5, donde 1 indica alta capacidad de detección del sistema y 5 indica que el sistema no dispone de mecanismos automáticos para advertir el error. Los errores que ocurren sin que el sistema pueda interceptarlos reciben el valor más alto en este criterio.

El Número de Prioridad de Riesgo (NPR) se calcula como el producto de los tres criterios, esto es, NPR igual a S por O por D. Un NPR alto identifica las tipologías que combinan elevado impacto, alta frecuencia y baja detectabilidad, configuración que las convierte en candidatas prioritarias de intervención. La Tabla No. 5 presenta la matriz resultante.

Tabla No. 5. Matriz de criticidad de las tipologías de error.

Tipología	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detectabilidad (D)	NPR	Nivel de criticidad
Mal en puerta	5	5	5	125	Crítica
Picado y no enviado	4	5	5	100	Crítica
Multidespacho	4	5	5	100	Crítica
Usuario menos	3	3	4	36	Media
Despacho otra ubicación	3	2	5	30	Media
Usuario más	2	2	4	16	Moderada
Enviado y no picado	2	1	2	4	Baja
Error caja/UMD	1	1	2	2	Baja

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

La aplicación de la matriz confirma el resultado del análisis de Pareto. Mal en puerta, picado y no enviado y multidespacho constituyen las tres tipologías con criticidad alta. Esta clasificación se utiliza como criterio

de diseño de la propuesta, de modo que el flujo del Voice Picking incorpore un mecanismo de control específico para cada tipología crítica.

Identificación de la causa raíz transversal

El análisis cruzado de las seis ramas del Diagrama de Ishikawa identifica un factor común a la mayoría de las tipologías. Este factor es la dependencia de la digitación manual sobre el dispositivo PDT, que actúa como punto único de captura sin validación física obligatoria.

En las ramas de Método, Mano de Obra y Medio, las prácticas operativas inadecuadas se ejecutan precisamente porque el dispositivo permite digitar la confirmación sin verificar la acción física correspondiente. La memorización anticipada de cantidades, la confirmación a distancia y la asignación a puerta incorrecta son posibles únicamente porque el PDT no exige interacción con el entorno antes de aceptar la entrada.

En la rama de Máquina, la propia arquitectura del dispositivo registra como válido lo digitado sin contrastarlo con la realidad física del almacén. Esta limitación constituye una característica estructural del modelo de captura, no una deficiencia de configuración subsanable mediante ajustes.

En la rama de Medición, la ausencia de retroalimentación inmediata impide que el operario corrija su acción antes de que el registro se consolide. Para el momento en que la inconsistencia se detecta, normalmente en el control posterior al despacho, la corrección requiere reprocesos, ajustes de inventario o devoluciones.

De este modo, la digitación manual constituye el factor habilitante de seis de las ocho tipologías registradas. Esta conclusión técnica orienta el alcance de la intervención propuesta. La solución debe operar sobre el medio de captura de información, no sobre el operario, dado que las prácticas inadecuadas son una consecuencia previsible de un sistema que no impone verificación física obligatoria en cada paso.

Matriz causa crítica - contramedida

Sobre la base de la jerarquización anterior, se establece la correspondencia entre cada causa crítica y el mecanismo específico que el Voice Picking implementa para mitigarla. La trazabilidad se sintetiza en la Tabla No. 6.

Tabla No. 6. Matriz causa crítica – contramedida.

Causa crítica	Mecanismo de control del Voice Picking
Mal en puerta	Comando obligatorio "Dejar en puerta" seguido del escaneo de la etiqueta del caddie. Impide la asignación a una puerta distinta de la indicada por el sistema.
Picado y no enviado	Flujo secuencial sin posibilidad de salto. El sistema solo avanza al siguiente paso al recibir confirmación verbal explícita, lo que elimina la digitación anticipada.
Multidespacho	Confirmación dígito por dígito de la cantidad y de la unidad logística asignada. Reduce la confusión entre destinos paralelos en el mismo turno.
Despacho otra ubicación	Check digitador. Cada ubicación dispone de un código numérico único que el operario debe dictar al sistema para iniciar la recolección, lo que garantiza la presencia física en el punto correcto.
Errores de cantidad (usuario más, usuario menos, error caja/UMD)	Confirmación dígito por dígito de cantidades y verificación de unidad de medida (caja o UMD) por comando verbal. Reduce los errores de interpretación al obligar a verbalizar cada cifra y cada unidad.

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Cada contramedida se diseña como una restricción del flujo, no como una alerta opcional. Esto significa que el operario no puede avanzar en el procedimiento si no completa la verificación correspondiente, lo que neutraliza las prácticas que actualmente permiten la generación del error. El detalle técnico de cada mecanismo se desarrolla en el Capítulo III.

En síntesis, la combinación del Diagrama de Ishikawa con el análisis de Pareto y la matriz de criticidad permite identificar las causas vitales, reconocer la digitación manual como causa raíz transversal y orientar el diseño del Voice Picking hacia mecanismos específicos de control. Sobre esta base, la herramienta aporta dos beneficios principales al área:

- Aumento de la productividad.
- Aumento de la precisión en la preparación de pedidos.

Área de estudio

En la Tabla No. 7 muestra el área de estudio en los cuales se toma en cuanto todos los puntos que conforman al tema con su respectiva definición indicadas.

Tabla No. 7. Área de estudio

ANÁLISIS	
El área de estudio de la propuesta metodológica es:	Automatización y Control
Dominio:	Tecnología y Sociedad
Línea de investigación:	Sistemas Industriales
Campo:	Ingeniería Industrial
Área:	Automatización
Aspectos:	Aplicación de la herramienta Voice Picking
Objetivos:	Optimizar el proceso de despacho mediante la aplicación de la herramienta Voice Picking, para aumentar la productividad y reducir errores en el proceso.
Período de análisis:	Junio 2024 – Septiembre 2025

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Modelo Operativo

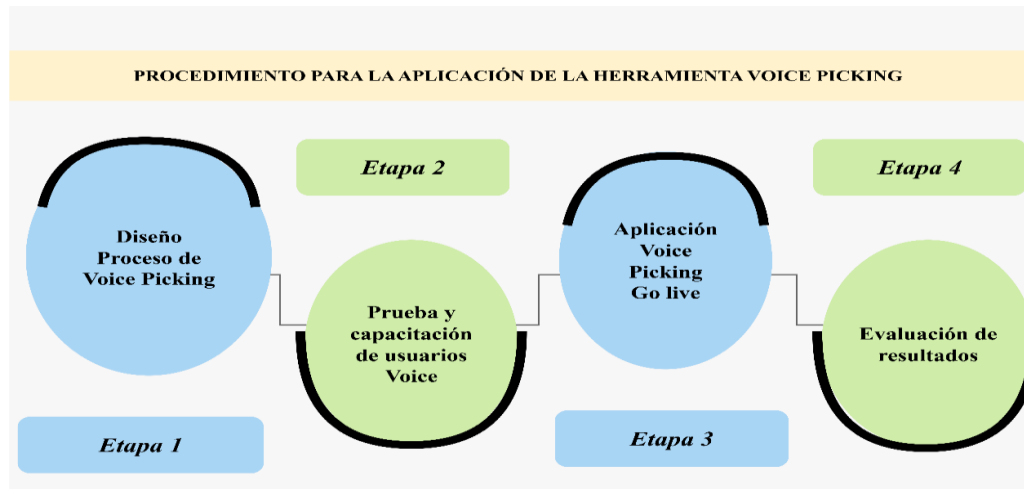


Figura No. 7. Modelo Operativo para la aplicación de la herramienta Voice Picking.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Desarrollo del modelo operativo

En la Figura No. 7, se visualiza el desarrollo que se llevara a cabo para la ejecución de la herramienta Voice Picking, del cual comienza con el diseño detallado del proceso de Voice Picking para adaptar el sistema a las necesidades detectadas. Luego, en la segunda etapa, se llevan a cabo las pruebas y la capacitación del personal para asegurar que los usuarios estén preparados para manejar la herramienta. La tercera etapa corresponde a la aplicación práctica del Voice Picking en producción (Go Live). Finalmente, en la cuarta etapa, se procede con la evaluación de los resultados obtenidos para comparar y medir la mejora respecto a la situación previa. Este orden garantiza una integración estructurada y efectiva del sistema en la operación.

Etapa 1. Diseño del proceso de Voice Picking

En la segunda etapa se lleva a cabo el diseño del proceso de Voice Picking para el área de despacho, partiendo de un análisis integral del proceso actual. Este análisis permite identificar aspectos críticos de mejora. A partir de este diagnóstico, se construye un diagrama de flujo que representa de manera estructurada cada fase que conformará el funcionamiento del aplicativo, permitiendo visualizar con claridad

la secuencia de actividades, las interacciones entre el operario y el sistema, así como los controles necesarios para garantizar la calidad del proceso.

También se realiza el levantamiento de diálogos y comandos estandarizados, los cuales constituirán la base de la comunicación entre el operario y el sistema mediante comandos de voz. La estandarización de estos diálogos no solo asegura la coherencia en la ejecución de las tareas, sino que también contribuye a reducir la ambigüedad en la interpretación de las órdenes a un nuevo mecanismo.

En este enfoque representa una transformación sustancial respecto al modelo tradicional. En el proceso actual, los despachadores digitan y confirman de manera manual las solicitudes, lo que genera riesgos de error en malos despachos. En contraste, la aplicación de Voice Picking traslada estas funciones al reconocimiento de voz, de modo que el operario interactúa directamente con el sistema de forma dinámica y continua. Como resultado, se logra una mayor eficiencia en la preparación de pedidos, una reducción significativa en la probabilidad de errores en el despacho, y un aumento en la productividad del área.

A continuación, se muestra los diagramas de flujo y comandos levantados para la integración con el aplicativo de voice picking:

✓ **Inicio de Sesión**

La Figura No. 8 presenta el diagrama de flujo del procedimiento de autenticación del operario en el aplicativo Lydia Voice. Este flujo constituye la primera interacción funcional entre el operario y el sistema en cada turno y, por tanto, su correcta validación es condición necesaria para la operación posterior de picking.

El flujo se inicia con el evento de arranque del dispositivo Zebra TC52 con el aplicativo Lydia Voice activo. La primera actividad consiste en la solicitud verbal del identificador de usuario por parte del aplicativo, mediante el comando "Ingrese Usuario". El operario responde con su código numérico personal, en el ejemplo "2468", que es capturado por el motor de reconocimiento de voz y transmitido al WMS Oracle mediante la API REST.

La segunda actividad consiste en la solicitud del identificador de facility por parte del aplicativo, mediante el comando "Facility". El operario responde con el código numérico de zona, en el ejemplo "01", que identifica el centro de distribución y la zona operativa habilitada para el usuario. Este código permite al sistema cargar el perfil de tareas específico de la zona.

Una vez recibidos ambos identificadores, el sistema ejecuta un nodo de decisión que verifica la validez del par usuario-clave en la base de datos del WMS. Si la validación resulta negativa, el sistema emite el comando de voz "Usuario o clave incorrecto" y reinicia el flujo. Si la validación resulta positiva, el sistema posiciona al operario en el menú principal mediante el comando "Indicar Opción Despacho", punto desde el cual se desencadenan los flujos específicos de preparación de pedidos en cajas, UMD o la operación de dejar en puerta.

La salida del flujo es, por tanto, el estado "sesión activa" con perfil cargado y zona habilitada. Este estado constituye la precondition para todas las operaciones posteriores documentadas en los flujos siguientes del Capítulo III.

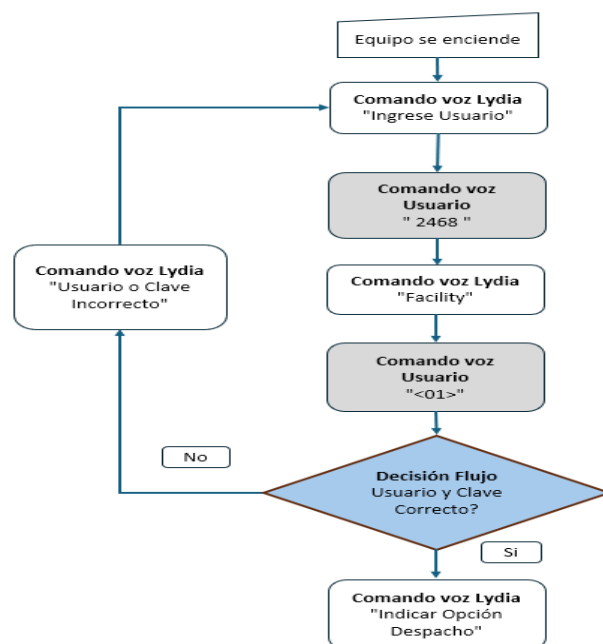


Figura No. 8. Diagrama de flujo inicio de sesión.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

La validación del flujo de inicio de sesión se ejecutó conforme al marco de Verificación y Validación (V&V) descrito en la norma IEEE 1012-2016, estándar internacional para la verificación y validación de sistemas, software y hardware. La aplicación de este marco al caso del aplicativo Lydia Voice consideró tres niveles secuenciales y complementarios. Cada nivel cuenta con criterios de aceptación cuantitativos definidos previamente a la ejecución de las pruebas.

Primer nivel: verificación funcional. Este nivel responde a la pregunta de si el software se construyó correctamente, es decir, si el flujo opera conforme a su especificación funcional. Las pruebas se ejecutaron por el área de sistemas en coordinación con el proveedor EPG, sobre casos de prueba diseñados para cubrir entradas válidas e inválidas.

Los casos incluyeron identificadores correctos, identificadores inexistentes, identificadores con perfil inactivo, identificadores asignados a otra zona, e interrupciones intencionales del proceso de captura de voz. El criterio de aceptación fue el comportamiento determinista del sistema en cada caso, con respuesta de voz y redirección de estado consistentes con la especificación.

Segundo nivel: pruebas de integración. Este nivel verifica la correcta comunicación entre componentes del sistema, conforme a lo recomendado en la literatura de testing de WMS. Para el flujo de autenticación, las pruebas verificaron tres aspectos. Primero, la transmisión correcta de la solicitud desde el dispositivo Zebra TC52 al servidor del WMS Oracle a través de la API REST. Segundo, la respuesta del WMS con el perfil del operario y la zona habilitada. Tercero, la carga adecuada de dicha información en la sesión del aplicativo Lydia Voice. El criterio de aceptación se estableció en un umbral de latencia inferior a dos segundos por interacción y ausencia de pérdida o alteración de datos.

Tercer nivel: pruebas de aceptación por el usuario (UAT). Este nivel responde a la pregunta de si el software construido es el software correcto desde la perspectiva del usuario final, conforme al marco UAT estandarizado en la disciplina de aseguramiento de calidad de software. Las pruebas se ejecutaron con operarios reales del área de despacho durante las sesiones de capacitación, en un entorno equivalente al de

producción. Se midió la tasa de éxito de inicio de sesión al primer intento, el tiempo promedio de autenticación y la robustez del reconocimiento de voz frente a las condiciones acústicas reales del almacén. Los criterios de aceptación cuantitativos se establecieron en tasa de éxito superior al 99 % al primer intento y tiempo promedio inferior a diez segundos para completar el flujo.

El flujo se considera válido cuando satisface los tres niveles simultáneamente. El registro de pruebas del área de sistemas reporta cumplimiento de los criterios de aceptación en los tres niveles, lo que constituyó la condición de habilitación para avanzar a las etapas posteriores del modelo operativo (Capacitación y Go Live).

✓ **Ingreso a la función preparación de pedidos**

En la Figura No. 9 muestra el proceso que ejecutará el usuario para ingresar a la función de preparación de pedidos. En este proceso va de la mano con el inicio de sesión por lo que al momento de estar en “Indicar Opción de despacho” se realiza la siguiente actividad.

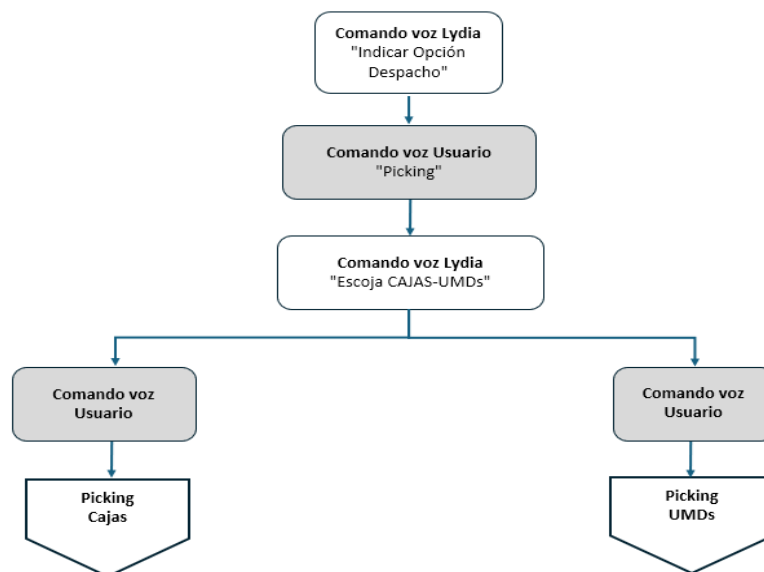


Figura No. 9. Ingreso a la función, preparación de pedidos.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

✓ **Preparación de pedidos (Cajas)**

En el proceso de preparación de pedidos, presentado en la Figura No. 10, el operario ejecuta las tareas de despacho en función de la necesidad específica del requerimiento o del asistente a cargo del área. Estas tareas pueden corresponder tanto a cajas completas como a unidades (Umds). La principal diferencia entre ambos tipos de despacho es en la solicitud: si el requerimiento es en cajas se despachará por caja completa, en el caso de Umds la solicitud combina tanto cajas como unidades fraccionadas. Adicionalmente, es importante señalar que las confirmaciones de las cantidades se realizan dígito por dígito y no mediante la pronunciación completa del número, también para tener una precisión en la atención de los pedidos, cada ubicación cuenta con un check digitador de confirmación que lo solicita en la estructura del proceso.

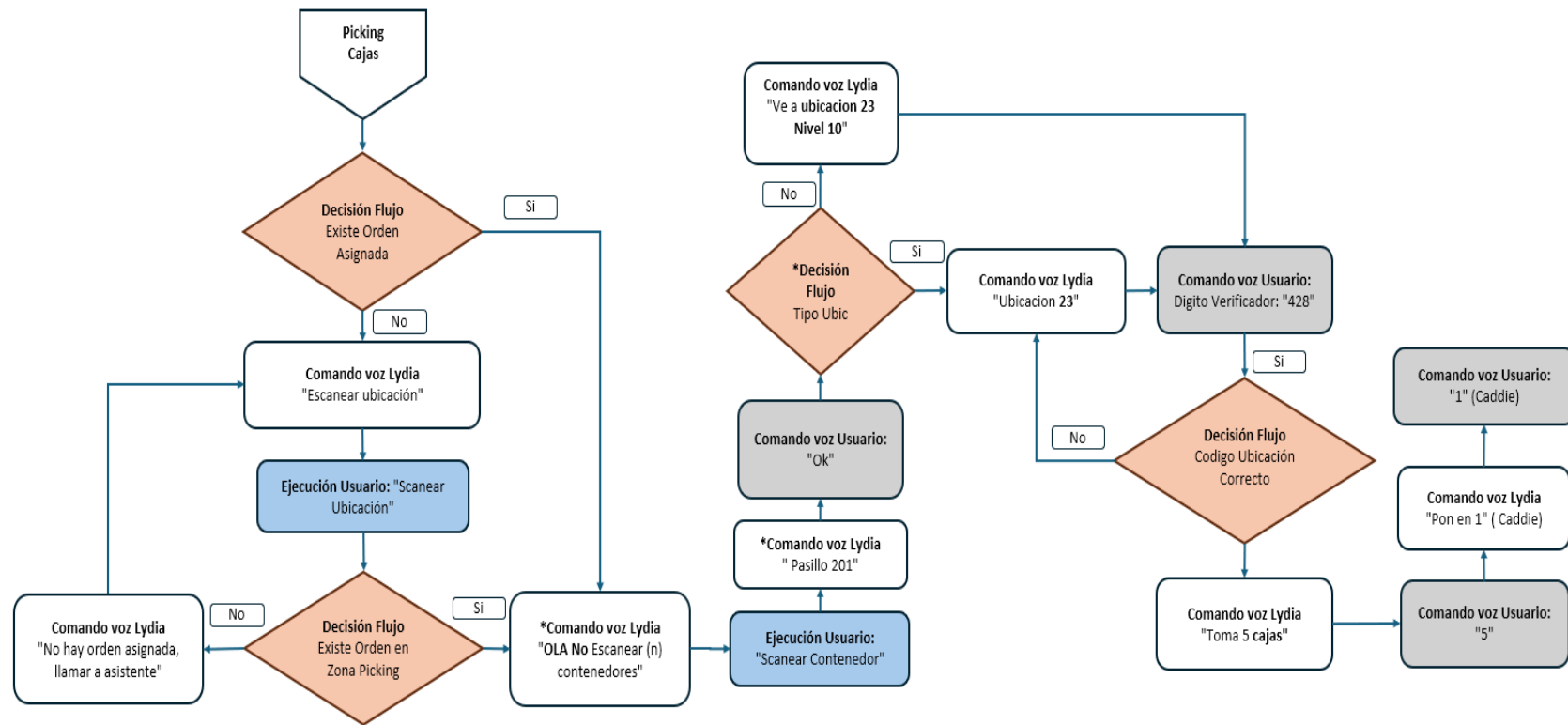


Figura No. 10. Diagrama de flujo, preparación de pedidos de cajas.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

✓ Preparación de pedidos (Umds)

En el proceso de preparación de pedidos de Umds es el mismo flujo (Figura No. 11), pero lo que cambia es en la solicitud, es decir en el proceso solicita primeros las cajas y después las Umds.

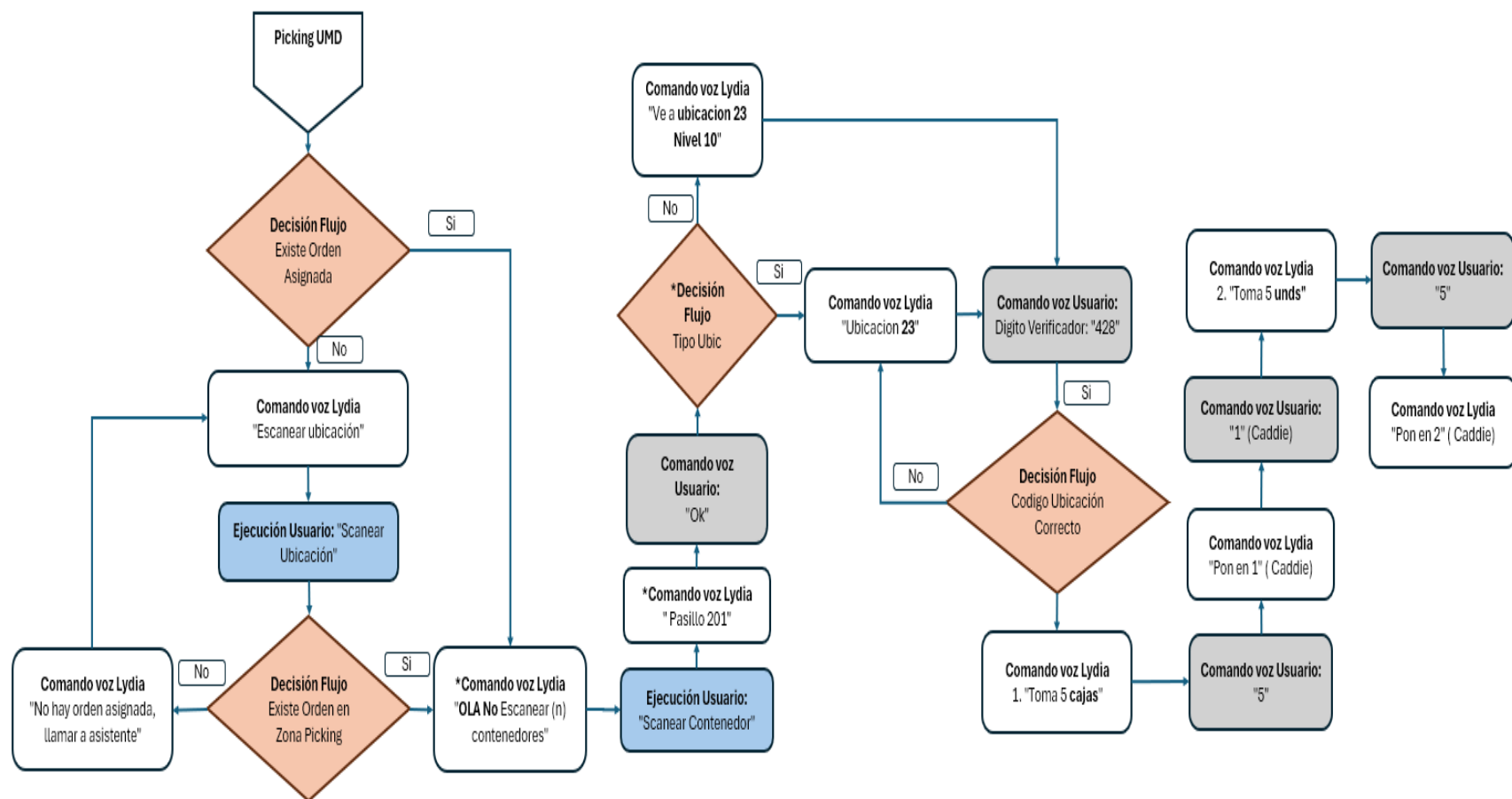


Figura No. 11. Diagrama de flujo, preparación de pedidos Umds.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

✓ **Dejar en puerta.**

Una vez atendido las solicitudes en el despacho, expuesto en la Figura No. 12, el sistema envía al usuario a dejar en puerta, lo cual procede a escanear la etiqueta y entregar la unidad logística en el lugar indicado, haciendo referencia al proceso actual en el PDT permitía desde el pasillo digitar la puerta, situación que con el nuevo aplicativo ya no lo pueden efectuar.

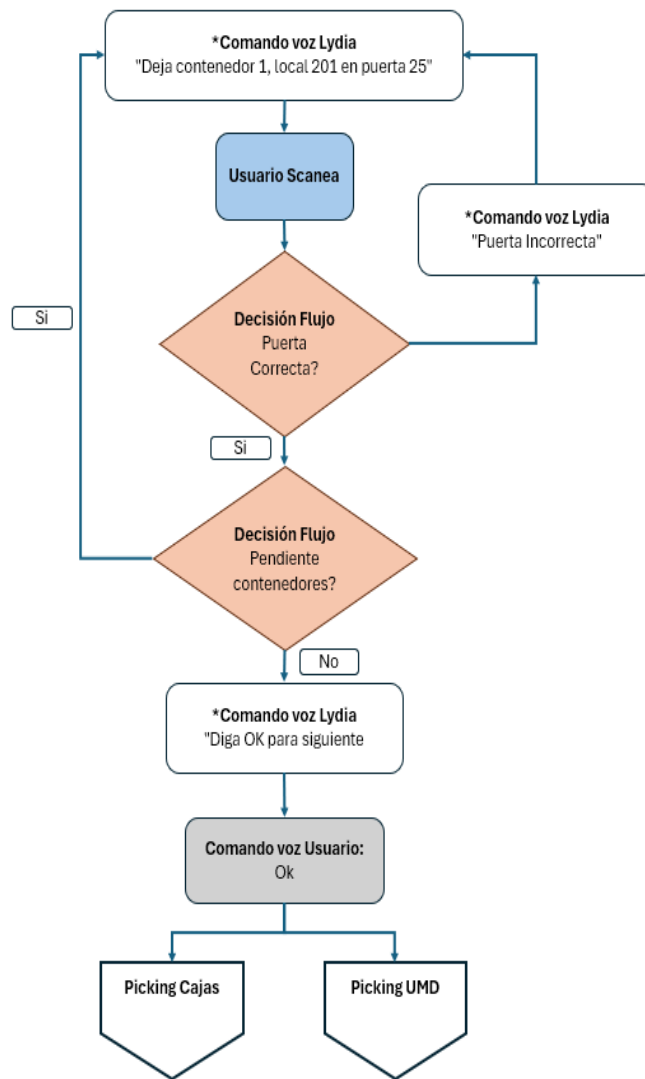


Figura No. 12. Diagrama de flujo, dejar en puerta.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Etapa 2. Pruebas de interfaz y capacitación.

Una vez concluido con el diseño de la etapa 2, se inicia la etapa 3, cuyo eje principal es la coordinación con el área de operación logística para llevar a cabo las pruebas de interfaz entre el aplicativo Lydia Voice y el sistema WMS. El propósito de esta fase es garantizar una comunicación estable y precisa entre ambos servidores, actividad indispensable para asegurar la integridad de los datos y la continuidad del flujo operativo.

Tras dichas pruebas, se procede a una segunda acción clave, de la cual es la coordinación con el departamento de Recursos Humanos para planificar y ejecutar las capacitaciones dirigidas al personal involucrado que en este caso son los operarios de despacho. Estas sesiones incluyen tanto la inducción sobre el nuevo proceso como la instrucción práctica en el uso de los equipos tecnológicos requeridos, lo que permite preparar a los operarios para una transición ordenada y efectiva hacia el nuevo modelo de trabajo en el menor tiempo posible.

✓ Pruebas de interfaz

En las pruebas ejecutadas por el área de sistemas se verificaron tanto las conexiones entre los servidores, como la red interna del Centro Regional de distribución, con el propósito de garantizar un flujo estable para la operación del aplicativo Voice Picking. Este procedimiento resulta esencial, se expone en la Figura No. 13, ya que la estabilidad de la red constituye un punto crítico en la gestión de sistemas logísticos que operan en tiempo real, donde cualquier interrupción o inconsistencia puede afectar la exactitud en la preparación de pedidos y, en consecuencia, el cumplimiento de los niveles de servicio.

Cabe recalcar que, por tratarse de información sensible relacionada con la seguridad informática, únicamente se presenta el esquema general de conexión, el cual evidenció resultados satisfactorios y confirmó la viabilidad técnica de la aplicación.

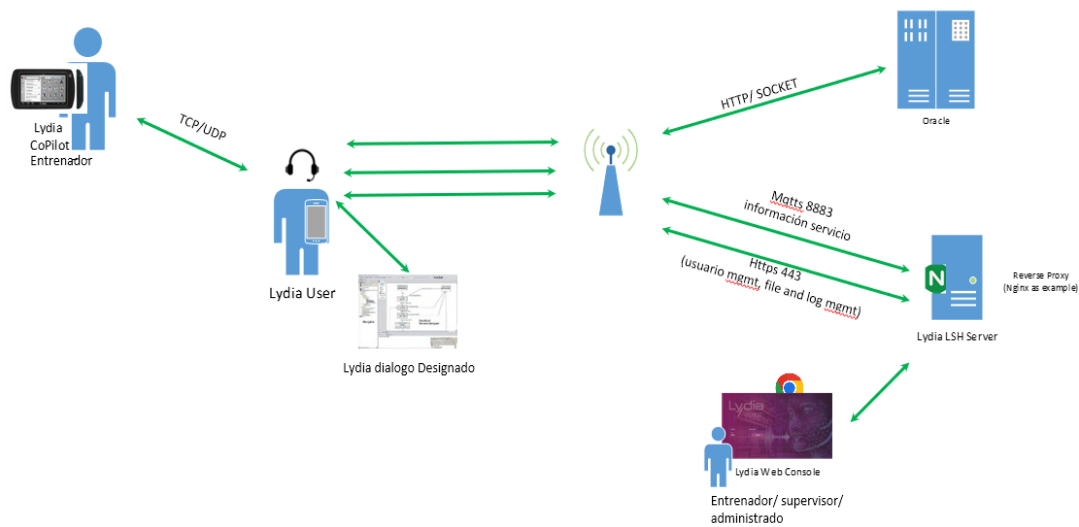


Figura No. 13. Interfaz de pruebas Lydia Voice/WMS.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Una vez confirmados por el departamento de sistemas los resultados exitosos de las pruebas realizadas, se dio inicio al proceso de inducción dirigido al personal operativo del área de despacho. Esta fase tiene como objetivo preparar a los colaboradores en el uso adecuado de la herramienta.

✓ Capacitación del personal

En coordinación con el área de Recursos Humano se gestionó la capacitación para 24 personas que conforman el área, de la cual se utilizó material visual y técnico para la comprensión de esta nueva herramienta en el tiempo de una hora y media durante tres días (Figura No. 14 y Figura No. 15).



Figura No. 14. Conceptos básicos del aplicativo.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

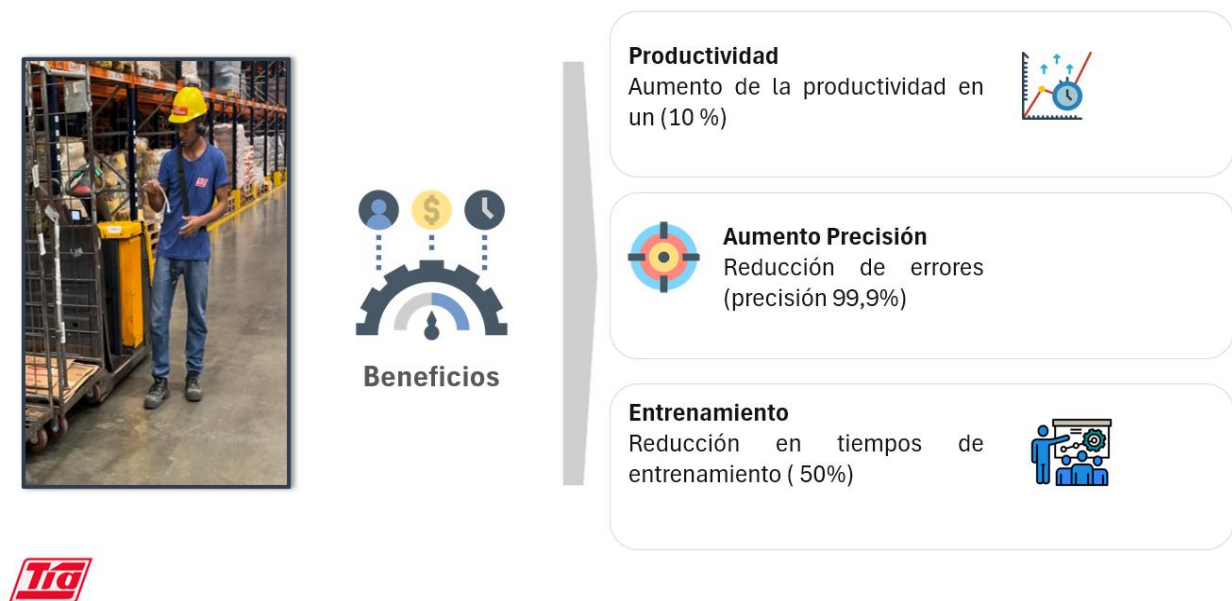


Figura No. 15. Propuesta de aplicación Voice Picking.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

- ✓ Uso de los equipos

Equipos

PDT (TC52)



De uso compartido por los usuarios

Auriculares



De uso personal por usuario



¿Cómo se usa?

Encender



Volumen



Escanear

Cambio batería



Desbloquear



Deslizar hacia arriba

Pantalla inicial



Lydia



Encender --> Mantener seleccionado por dos segundos.

Volumen --> Mantener seleccionado por dos segundos.



Cambiar batería



Figura No. 16. Uso de equipos.

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

1. Encender el TC52



2. Mantener seleccionado el botón de encender hasta que empiece a parpadear de rojo y azul.



3. Acercar los equipos donde se encuentre la señalética de conexión.



PDT (parte posterior)



4. Seleccionar en el PDT "Vincular"

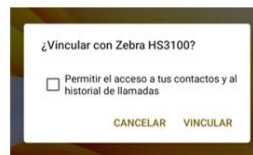


Figura No. 17. Emparejamiento de equipos.

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

- **Auriculares**



Figura No. 18. Colocación de auriculares.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

✓ **Ingreso al aplicativo**

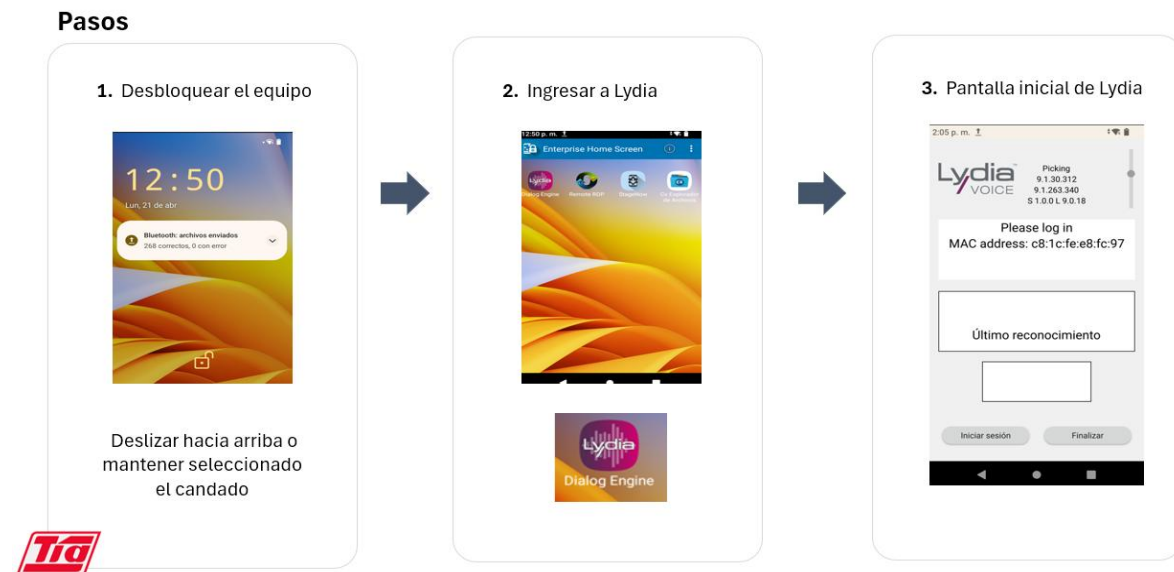


Figura No. 19. Ingreso al aplicativo.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

✓ **Comandos de voz del aplicativo**

Tabla No. 8. Resumen de comandos de voz.

Diálogo	Comando de Voz	Para qué sirve	Cuando usarlo
Iniciar sesión - usuario	[1235]	Iniciar sesión	Cuando el usuario vaya a iniciar sesión.
Iniciar sesión - facility	[01]	Iniciar sesión	Cuando el usuario vaya a iniciar sesión.
Volumen	“Alto / Más Alto”	Regular el volumen del dispositivo	Cuando el volumen del dispositivo esté muy bajo o muy alto.
Volumen	“Bajo / Más Bajo”	Regular el volumen del dispositivo	Cuando el volumen del dispositivo esté muy bajo o muy alto.
Velocidad de voz	“Rápido / Más Rápido”	Regular la velocidad del comando de voz	Cuando la velocidad del comando de voz sea demasiado alta o baja.
Velocidad de voz	“Lento / Más lento”	Regular la velocidad del comando de voz	Cuando la velocidad del comando de voz sea demasiado alta o baja.
Indicar opción de despacho	“Picking / Cajas”	Seleccionar opción de despacho	Al iniciar el proceso de despacho.
Indicar opción de despacho	“Picking / UMDs”	Seleccionar opción de despacho	Al iniciar el proceso de despacho.
Indicar opción de despacho	“Dejar en puerta”	Finalizar la tarea actual	Cuando el asistente objete indicaciones de despacho.
Cerrar sesión	“Cerrar sesión”	Salir de la aplicación	Cuando el usuario finalice su sesión.
—	“Repetir”	Repetir la última instrucción indicada	Cuando se necesite escuchar nuevamente la instrucción.
—	“Lydia Pausa”	Desactivar el micrófono	Cuando se requiera escuchar indicaciones sin emitir comandos de voz.

Diálogo	Comando de Voz	Para qué sirve	Cuando usarlo
—	“Lydia Despierta”	Reactivar el micrófono	Al retomar la función de picking.
—	“Cancelar”	Retroceder un paso antes de iniciar el despacho	Cuando sea necesario volver al paso previo u opción de despacho.
—	“Volumetría”	Consultar información del producto (descripción, empaque, embalaje)	Cuando se requiera conocer detalles del producto.
Picking Cajas / Umds	“Repetir Ubicación”	Escuchar nuevamente la ubicación asignada	Si el usuario no ubica la dirección.
Picking Cajas / Umds	“Repetir Cantidades”	Escuchar nuevamente la cantidad solicitada	Si el usuario no ubica la cantidad que pidió.
Picking Cajas / Umds	“Saltar”	Saltar a la siguiente directiva de picking	Cuando no haya stock disponible o no pueda continuar la tarea.
Picking Cajas / Umds	“Inventario”	Consultar el stock disponible del producto	Cuando se necesite verificar stock.
Picking Cajas / Umds	“Listo”	Confirmar el pasillo más cercano a la ubicación de despacho	Al comenzar el despacho, confirmando el pasillo.
Picking Cajas / Umds	“Dejar en puerta”	Registrar el contenedor master en puerta	Cuando el caddie esté completamente lleno.
Picking Cajas / Umds	“Salir”	Para salir durante el despacho	Se utiliza para salir al almuerzo o al baño con la debida autorización del líder o Asistente.
Picking Cajas / Umds	“Okey”	Confirmar el proceso actual	Para confirmar cuando Lydia Voice te lance una acción.

Diálogo	Comando de Voz	Para qué sirve	Cuando usarlo
Ajustes	“Sí”	Confirmar una pregunta del sistema	Cuando el sistema solicite validación, por ejemplo, una pregunta de confirmación.
Ajustes	“No”	Negar una pregunta del sistema	Cuando el sistema solicite validación, por ejemplo, una pregunta de negación o descarte.

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Etapas 3. Aplicación en producción (Go Live)

En esta etapa se procede a la ejecución en ambiente de producción del proceso de despacho a través de la aplicación de la herramienta Voice Picking (Figura No. 20), lo que permite comprobar su funcionalidad en tiempo real. De manera paralela, se realiza el levantamiento de información relacionada con la productividad del área y con la precisión en la preparación de pedidos por parte de unidad de control, con el fin de establecer un punto de estabilización que sirva como referencia para la evaluación del sistema.

Asimismo, al tener la integración entre el WMS y el aplicativo Lydia Voice, se puede acceder a los reportes generados mediante BI Publisher, lo que facilita la obtención y análisis de datos vinculados con la productividad de los usuarios.

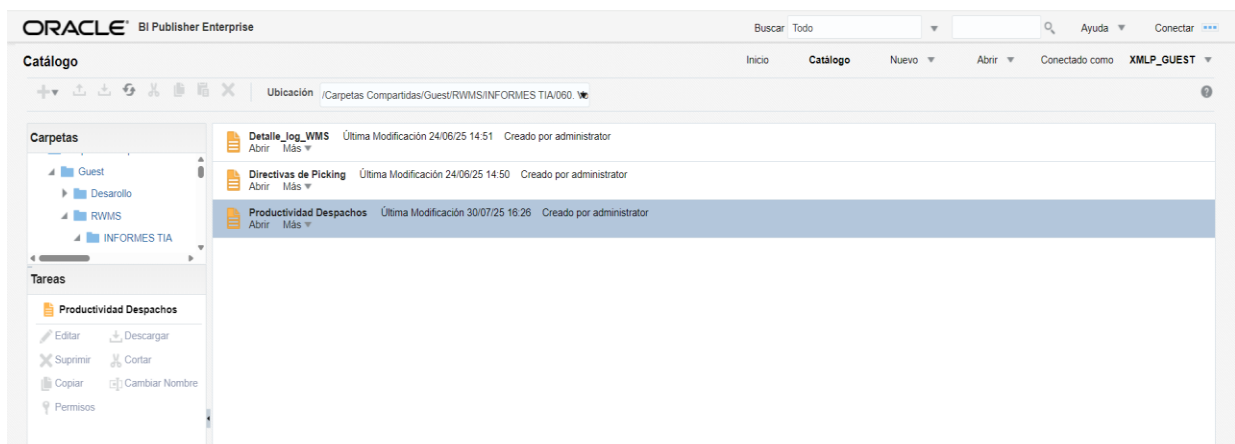


Figura No. 20. Reportaría de productividades.

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

También se hace uso de la plataforma de Lydia voice (Figura No. 21) que está diseñada para monitorear a los usuarios en cuanto a su actividad dentro de la aplicación como por ejemplo la velocidad de voz, el volumen de salida, la vinculación del dispositivo y el estado de los equipos en referencia a nivel de batería.

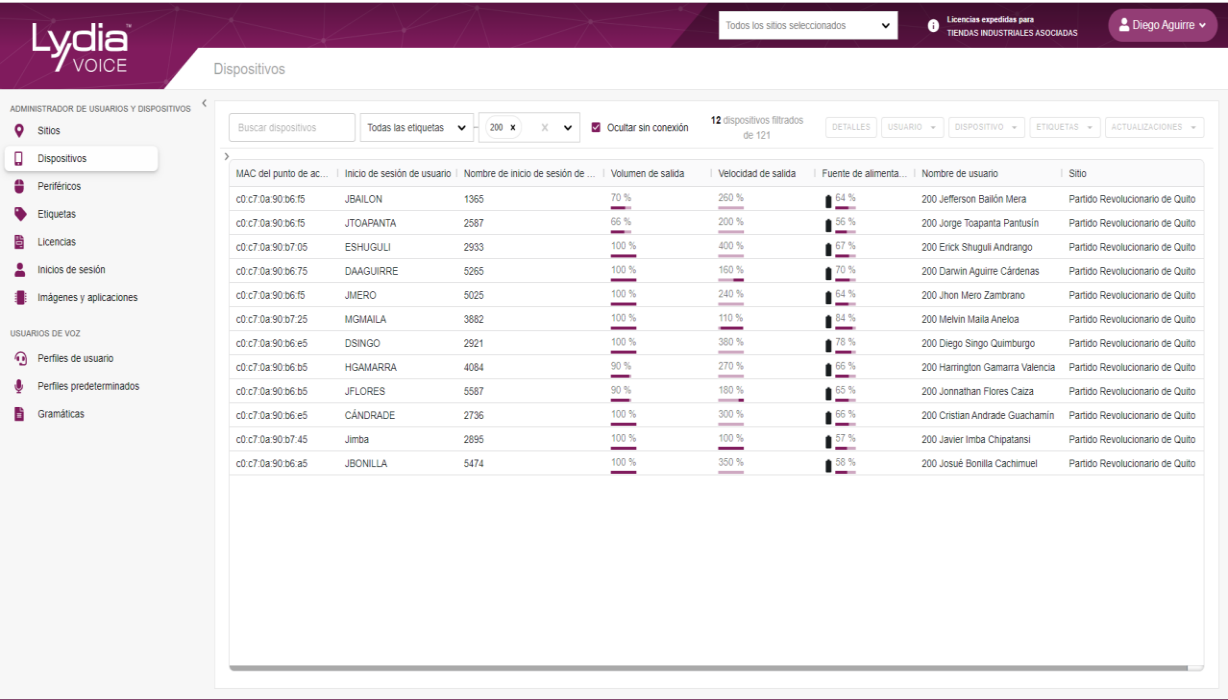


Figura No. 21. Dispositivos conectados en tiempo real.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Además, por medio de la aplicación Copilot (Figura No. 22) se hace seguimiento en tiempo real del usuario en cuanto a su interacción con el aplicativo, la forma de cómo responde y confirma las solicitudes en la preparación de los pedidos. Dicho control facilita la detección de posibles inconsistencias en la ejecución de las tareas y, al mismo tiempo, constituye una fuente de información valiosa para evaluar la eficiencia individual y colectiva, contribuyendo a la mejora continua de la operación logística.

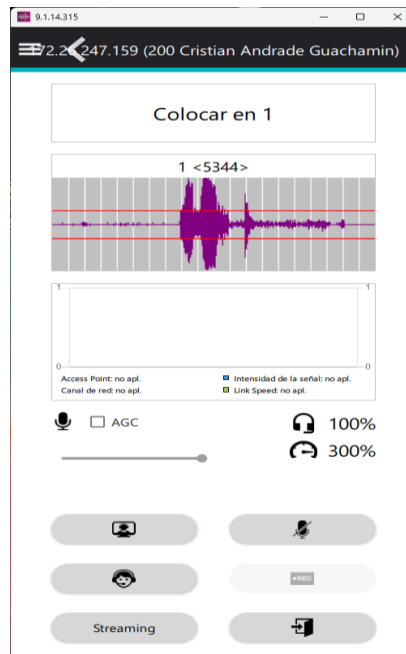


Figura No. 22. Interacción del usuario - copilot.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Etapla 4. Evaluación de resultados

En la fase final de este proyecto se procede a la recopilación de datos con el objetivo de comparar y analizar el desempeño del área de despacho antes y después de la aplicación de la herramienta Voice Picking. Para ello, se evaluará indicadores la productividad general y la eficiencia en la preparación de pedidos, la cual es supervisada directamente por el área de unidad de control UCC.

Es importante señalar que, a partir del mes de agosto, se ha logrado una estabilidad operativa en el área, atribuida al período de adaptación que el personal requirió frente a esta nueva metodología en el proceso de despacho que corresponde al mes de julio. En este tiempo de aclimatación fue necesario para que los colaboradores pudieran familiarizarse a los comandos para asimilar los cambios asociados al uso de la herramienta Voice Picking, facilitando su correcta adopción y optimización del flujo de trabajo. Se ha identificado que, a través de esta aplicación, es posible establecer como propuesta los indicadores expuestos en Figura No. 23.



Figura No. 23. Propuesta por alcanzar.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

CAPÍTULO III

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Presentación de la propuesta

Partiendo del estudio realizado en el área de despacho del Centro Regional de Distribución, se evidenció que en el proceso actual los operarios utilizan de manera reiterada procedimientos inadecuados a través del dispositivo PDT, ingresando manualmente las solicitudes que el sistema genera. Esta práctica origina que las cantidades requeridas por el cliente interno no se registren ni se entreguen con exactitud, lo cual deriva en inconformidades, pérdida de confianza y discrepancias entre los inventarios del almacén y los niveles de stock en el local.

Ante este escenario, se plantea la necesidad de incorporar la herramienta Voice Picking, cuyo propósito central es gestionar las solicitudes mediante comandos de voz. Esta herramienta tecnológica ofrece a los operarios la posibilidad de trabajar con las manos libres, lo que incrementa significativamente su productividad en un 10%, concentración y mejora la precisión en el proceso de preparación de pedidos.

Análisis comparativo de tecnologías de captura para preparación de pedidos

La elección del Voice Picking como tecnología de captura no es arbitraria, sino el resultado de una evaluación comparativa entre las alternativas técnicamente viables para el contexto operativo del Centro Regional de Distribución. Las tecnologías consideradas fueron el picking por radiofrecuencia (RF) con dispositivos PDT, que constituye la línea base actual, el pick to light (PTL) con módulos luminosos en estantería, el pick by vision (PBV) con gafas de realidad aumentada y la opción inicialmente descartada del paper picking por su obsolescencia operativa.

El picking por radiofrecuencia presenta como ventaja su bajo costo de implementación y su compatibilidad con la infraestructura ya instalada en TIA S.A. Sin embargo, su limitación estructural es la dependencia de la lectura de pantalla y la digitación manual, condición que constituye precisamente la causa raíz transversal identificada en el Capítulo II. La literatura empírica reporta que la sustitución de RF picking

por Voice Picking produce un incremento de productividad cercano al 12 % y una reducción de errores del orden del 21 % en condiciones controladas.

El pick to light ofrece una de las mayores velocidades de picking por la línea de pedido, con tasas que oscilan entre 110 y 350 líneas por hora, y una precisión cercana al 99.6 %. Su principal limitación es la rigidez de la infraestructura, ya que requiere instalación física de módulos luminosos por ubicación, lo que lo hace inviable en almacenes con alta variabilidad de SKU y reorganización frecuente de estanterías, condición que caracteriza a la operación del CRD de TIA S.A. Su costo de implementación se eleva significativamente por SKU al escalar a centenares o miles de ubicaciones.

El pick by vision constituye la alternativa más reciente y se basa en gafas de realidad aumentada con guiado visual. Su adopción en logística es aún incipiente y presenta tres limitaciones operativas. La primera es el peso del dispositivo en jornadas extensas, la segunda es la corta autonomía de batería de las gafas industriales actualmente comercializadas, y la tercera es la vulnerabilidad técnica del visor en entornos con polvo y manipulación intensiva.

El Voice Picking, frente a estas alternativas, presenta el mejor balance entre tres atributos críticos para el caso de estudio. Primero, es completamente hands-free y eyes-free, lo que permite al operario manipular la mercadería sin interrupciones. Segundo, no requiere infraestructura fija por ubicación, dado que opera sobre dispositivos móviles y la red WiFi existente. Tercero, escala con bajo costo marginal por SKU adicional, lo que es relevante en un centro de distribución con alta diversidad de productos. La Tabla No.9 sintetiza la comparación.

Tabla No. 9. Comparación de tecnologías de captura para preparación de pedidos.

Criterio	RF picking (PDT)	Pick to light	Pick by vision	Voice Picking
Operación manos libres	No	Parcial	Sí	Sí
Verificación física obligatoria	No	Sí	Parcial	Sí (check digitador)
Costo de escalamiento por SKU	Bajo	Alto	Medio	Bajo

Requiere infraestructura fija por ubicación	No	Sí	No	No
Resistencia al ruido ambiental	Alta	Alta	Alta	Media (mitigable con auricular industrial)
Curva de aprendizaje del operario	Media	Baja	Alta	Baja
Adopción documentada en retail de consumo masivo	Alta	Media	Baja	En crecimiento

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

El análisis comparativo justifica la elección del Voice Picking como tecnología base. A continuación, se desarrolla el análisis crítico de cada componente específico que integra la solución implementada en el Centro Regional de Distribución.

Componentes básicos del sistema — Hardware

La implementación de Voice Picking requiere un conjunto de componentes de hardware que, en su integración, conforman la infraestructura física necesaria para el funcionamiento del sistema en el Centro Regional de Distribución. A continuación, se describen los elementos principales:

Computadora táctil Zebra TC52

El dispositivo portátil seleccionado para la operación es la computadora táctil Zebra TC52 Series, un terminal de nivel empresarial basado en Android que proporciona la plataforma sobre la cual opera el aplicativo Lydia Voice. Este equipo cuenta con un procesador de alto rendimiento, pantalla táctil de 5 pulgadas con alta definición (1280 x 720), conectividad Wi-Fi IEEE 802.11 a/b/g/n/ac con tecnología MU-MIMO 2x2, Bluetooth 5.0 BLE, y compatibilidad NFC.

Sus dimensiones son 155 mm x 75.5 mm x 18.6 mm con un peso de 249 g con batería, y posee clasificación de sellado IP67 e IP65, lo que garantiza resistencia al polvo y agua en el entorno de almacén. La batería tiene una autonomía aproximada de 10 horas continuas de operación. Se dispone de 53 equipos TC52 para la operación, con 16 baterías de respaldo para garantizar la continuidad durante los turnos.

Análisis técnico del Zebra TC52 frente a alternativas

La selección del Zebra TC52 como dispositivo portátil de la solución se evaluó frente a tres alternativas de mercado: el Honeywell CT40, el Datalogic Memor 10 y el uso de tablets industriales de propósito general. La decisión se sustenta en cuatro criterios técnicos, expuestos a continuación.

El primer criterio es la compatibilidad certificada con el aplicativo Lydia Voice de EPG. El TC52 es uno de los terminales sobre los que el proveedor certifica el funcionamiento del aplicativo, lo que elimina riesgos de incompatibilidad en la conexión Bluetooth con el auricular y en la integración con el WMS Oracle (EPG, 2022). El uso de un dispositivo no certificado obligaría a desarrollar capas de middleware adicionales con incremento del costo de soporte.

El segundo criterio es el rendimiento del hardware. El TC52 dispone de un procesador de mayor velocidad que el Honeywell CT40 y de una pantalla táctil de 5 pulgadas, superior a las 4.3 pulgadas del CT40 (BlueFletch, 2024). La pantalla más amplia facilita el acceso visual al sistema cuando el operario lo requiere, sin que ello afecte el modo de operación principal por voz.

El tercer criterio es la autonomía operativa. La batería del TC52 ofrece hasta 14 horas de operación efectiva, frente a las 10 horas máximas del Honeywell CT40 (BlueFletch, 2024). Considerando turnos extendidos en el área de despacho, una autonomía superior reduce la frecuencia de cambio de batería y minimiza las interrupciones operativas. El Datalogic Memor 10, por su parte, opera sobre Windows Embedded Compact en lugar de Android, lo que limita la compatibilidad con el ecosistema de Lydia Voice diseñado para Android.

El cuarto criterio es la robustez certificada para entorno industrial. La clasificación IP67 e IP65 del TC52 garantiza resistencia al polvo y al agua, requisito que las tablets industriales de propósito general no alcanzan sin fundas reforzadas adicionales. Esta certificación es indispensable en un Centro Regional de Distribución donde el dispositivo está expuesto a impactos por caída y a condiciones de polvo característico del manejo de carga.

En síntesis, el Zebra TC52 constituye la opción que ofrece el mejor balance entre certificación con Lydia Voice, rendimiento, autonomía y robustez. La selección se alinea con el patrón de adopción documentado en la literatura del sector, que ubica a los terminales rugged de gama media como el estándar de facto en operaciones de Voice Picking de gran escala (Tubis & Rohman, 2023).

Auricular Bluetooth Zebra HS3100-BTN-L

El auricular utilizado es el modelo Zebra HS3100-BTN-L (Behind-the-Neck, lado izquierdo), un auricular resistente Bluetooth diseñado específicamente para entornos industriales y aplicaciones dirigidas por voz. Este dispositivo cuenta con un micrófono de alta definición con cancelación de ruido sellado (inmunidad superior a 10 dB), lo que permite una comunicación clara incluso en los ambientes más ruidosos del almacén.

El auricular opera bajo Bluetooth Clase II versión 3.0 con perfil de manos libres (HFP 1.6), A2DP y HSP 1.2, y dispone de sincronización NFC mediante Tap-to-Pair para un emparejamiento en segundos con el dispositivo TC52. Su clasificación IP67 lo hace prácticamente impermeable al polvo y resistente a la inmersión en agua, y opera en temperaturas desde -30°C hasta +50°C. Con un peso de apenas 115 g con batería, ofrece hasta 15 horas de uso continuo de voz. Se dispone de 136 auriculares para la operación, con 27 baterías de respaldo (autonomía de 8 a 9 horas por carga).

Análisis técnico del Zebra HS3100 frente a alternativas

La selección del auricular Zebra HS3100-BTN-L se evaluó frente a dos categorías de alternativas. La primera categoría corresponde a auriculares Bluetooth de uso general o consumer-grade, optimizados para llamadas en entornos de oficina. La segunda categoría corresponde a auriculares industriales competidores como el Vocollect SRX3 de Honeywell, ampliamente difundido en el sector. La decisión técnica se sustenta en cuatro factores que se desarrollan a continuación.

El primer factor es la cancelación de ruido sellado. El HS3100 dispone de un micrófono con inmunidad superior a 10 dB, parámetro crítico en el almacén donde el ruido ambiental de montacargas,

ventiladores y operación de carga puede degradar la precisión del reconocimiento de voz. Los auriculares consumer-grade no alcanzan este nivel de aislamiento y producen tasas de reconocimiento inferiores en pruebas comparativas (EPG, 2022).

El segundo factor es la certificación industrial IP67 y el rango operativo de temperatura de -30 °C a +50 °C. El HS3100 mantiene funcionalidad en presencia de polvo, condensación y cámaras refrigeradas, condiciones presentes en el CRD. Las alternativas consumer-grade carecen de esta certificación y presentan tasas de falla mecánica superiores en uso industrial continuo.

El tercer factor es la compatibilidad de perfiles Bluetooth y la sincronización NFC. El HS3100 implementa los perfiles HFP 1.6, A2DP y HSP 1.2 requeridos por el aplicativo Lydia Voice para mantener una conexión estable y audio bidireccional sin compresión excesiva. La sincronización NFC mediante Tap to Pair reduce el tiempo de emparejamiento dispositivo-auricular a pocos segundos al inicio del turno, ventaja operativa relevante en una flota de 136 auriculares en rotación.

El cuarto factor es la disponibilidad y costo total de propiedad (TCO). Aunque el Vocollect SRX3 ofrece prestaciones similares en cancelación de ruido y certificación industrial, su integración con Lydia Voice requiere capas adicionales de configuración, dado que el SRX3 está optimizado para el ecosistema Vocollect del fabricante Honeywell (EPG, 2022). El HS3100, integrado nativamente con Lydia Voice y con el TC52, reduce los costos de configuración inicial y soporte recurrente.

En síntesis, el HS3100 satisface simultáneamente los requisitos de aislamiento acústico, robustez industrial, compatibilidad de perfiles y eficiencia operativa, configuración que no se encuentra en las alternativas evaluadas para el contexto del CRD de TIA S.A.

Cinturón de portación del equipo

Para la portación del dispositivo TC52 durante la operación, se utiliza un cinturón con estuche tipo funda fabricado en material textil resistente (nylon balístico). Este accesorio permite al operario llevar el equipo sujeto a la cintura de forma segura, manteniendo las manos completamente libres para la

manipulación de la mercadería durante el proceso de picking. El estuche cuenta con un sistema de cierre rápido que facilita la extracción y colocación del dispositivo cuando es necesario.



Figura No. 24. Cinturón/arnés de portación del dispositivo.

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Infraestructura de red WiFi

El Centro Regional de Distribución cuenta con 16 antenas WiFi-distribuidas estratégicamente en el área de despacho para garantizar una cobertura total y una señal estable en todos los pasillos de picking. Los equipos de Voice Picking están configurados para operar en la banda de 5 GHz, lo que proporciona una velocidad efectiva superior en la comunicación entre los dispositivos portátiles y las antenas, minimizando la latencia en la transmisión de datos en tiempo real entre el aplicativo Lydia Voice y el sistema WMS.

Análisis de la elección de banda 5 GHz frente a 2.4 GHz

La configuración de los equipos para operar en la banda de 5 GHz, frente a la opción más extendida de 2.4 GHz, responde a tres criterios técnicos relevantes para una aplicación de voz en tiempo real. Estos criterios se desarrollan a continuación y se sintetizan en la Tabla No.10.

Tabla No. 10. Comparación técnica de las bandas WiFi para aplicación de Voice Picking.

Criterio técnico	Banda 2.4 GHz	Banda 5 GHz	Implicación operativa
Canales no superpuestos	3	21	Menor probabilidad de colisión de paquetes en 5 GHz
Interferencia con Bluetooth, microondas industriales y sensores	Alta	Baja	Reconocimiento de voz más estable en 5 GHz
Ancho de banda efectivo por canal	Hasta 22 MHz	Hasta 160 MHz	Mayor capacidad de transmisión en 5 GHz
Latencia bajo carga operativa	Variable	Estable y baja	5 GHz sostiene el umbral de 2 segundos por interacción
Alcance físico de la señal	Mayor	Menor	Mitigado en 5 GHz mediante 16 antenas distribuidas
Penetración a través de obstáculos	Mayor	Menor	Mitigado mediante diseño de cobertura por sectores
Idoneidad para aplicaciones de tiempo real	Limitada	Recomendada	5 GHz es la opción técnicamente adecuada

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

El primer criterio es la disponibilidad de canales no superpuestos. La banda de 2.4 GHz dispone de únicamente tres canales no superpuestos en la mayoría de las regiones regulatorias, lo que provoca congestión en entornos densos como un Centro Regional de Distribución. La banda de 5 GHz, en contraste, ofrece veintiún canales no superpuestos, lo que permite una mejor distribución del tráfico y reduce las colisiones de paquetes (Cena et al., 2025).

El segundo criterio es la interferencia de fuentes no WiFi. La banda de 2.4 GHz coincide con el espectro utilizado por dispositivos Bluetooth, sistemas de microondas industriales y diversos sensores inalámbricos comunes en almacenes. Esta convivencia degrada la calidad de la señal y eleva la latencia en aplicaciones sensibles al tiempo. La banda de 5 GHz presenta significativamente menor congestión por esta categoría de interferencia (Westward Sales, 2024).

El tercer criterio es la latencia para tráfico bidireccional en tiempo real. La integración entre el aplicativo Lydia Voice y el WMS Oracle exige tiempos de respuesta inferiores a dos segundos por

interacción para preservar la fluidez del flujo de picking. La mayor capacidad efectiva de la banda de 5 GHz y su menor congestión hacen viable este umbral en condiciones operativas reales, mientras que la banda de 2.4 GHz mostraría una variabilidad de latencia mayor durante los picos de operación (Cena et al., 2025).

La limitación natural de la banda de 5 GHz es su menor alcance y mayor atenuación frente a obstáculos, se compensa mediante la instalación estratégica de las dieciséis antenas distribuidas en el área de despacho, lo que asegura cobertura total y elimina puntos ciegos.

La Tabla No. 11 describe el resumen del equipamiento necesario en cuanto a Hardware se refiere.

Tabla No. 11. Tabla resumen de equipamiento.

Componente	Cantidad	Backup baterías	Autonomía batería
Zebra TC52	53	16	~10 horas
Zebra HS3100-BTN-L	136	27	8-9 horas (hasta 15h)
Antenas WiFi 5 GHz	16	N/A	N/A
Cinturones de portación	53	N/A	N/A

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Componentes del sistema — Software

El componente de software del sistema Voice Picking está compuesto por el aplicativo Lydia Voice, el cual actúa como intermediario entre el sistema de gestión de almacenes (WMS) y el operario. Su función principal es convertir las instrucciones generadas por el WMS en comandos de voz que el operario escucha a través de los auriculares y, a su vez, interpretar las respuestas verbales del operario para registrarlas en el sistema como confirmaciones de las tareas ejecutadas.

Motor de reconocimiento de voz

El motor de reconocimiento de voz de Lydia Voice es propietario, basado en algoritmos de inteligencia artificial desarrollados por EPG, sin dependencia de servicios de terceros como Google Speech o Amazon Transcribe. Esta característica ofrece dos ventajas fundamentales para la operación logística.

En primer lugar, el sistema no requiere un proceso de entrenamiento o calibración de voz previo por cada operario. Gracias a los algoritmos de inteligencia artificial, el usuario interactúa con el aplicativo de forma inmediata desde su primer uso, lo que reduce significativamente los tiempos de incorporación de personal nuevo. De acuerdo con el proveedor EPG, la precisión de reconocimiento de voz del sistema alcanza el 99.9%, lo que garantiza una interacción fluida sin necesidad de repetir comandos.

En segundo lugar, el sistema es configurable para múltiples idiomas y acentos regionales. Para la implementación en el Centro Regional de Distribución de TIA S.A., se configuró con acento local en español ecuatoriano, lo que facilita la comprensión y naturalidad en la interacción entre los operarios y el aplicativo.

Análisis técnico del motor Lydia Voice frente a alternativas

La selección de Lydia Voice como motor de reconocimiento se evaluó frente a tres alternativas técnicamente viables. La primera es el sistema Vocollect Voice de Honeywell, considerado durante años el estándar de facto del sector. La segunda corresponde a los servicios genéricos de reconocimiento de voz en la nube, como Google Speech to Text, Amazon Transcribe o Microsoft Azure Speech. La tercera es el desarrollo de un motor de reconocimiento propio in-house. La comparación se realizó sobre cinco criterios técnicos que se desarrollan a continuación y se sintetizan en la Tabla No. 12.

Tabla No. 12. Comparación técnica de motores de reconocimiento de voz.

Criterio técnico	Vocollect Voice (Honeywell)	Servicios genéricos en la nube	Desarrollo propio in-house	Lydia Voice (EPG)
Modelo de reconocimiento	Speaker- dependent	Speaker- independent genérico	Variable según diseño	Speaker- independent con IA
Calibración por usuario requerida	Sí	No	Variable	No
Precisión declarada	99 %	90 % - 95 %	No determinada	99.9 %
Especialización en operación logística	Alta	Baja	Requiere desarrollo	Alta
Configurabilidad de acento regional	Limitada	Limitada	Posible (alto costo)	Sí (español ecuatoriano)
Integración con WMS Oracle	Mediante middleware	Requiere desarrollo	Requiere desarrollo	Nativa vía API REST
Dependencia de proveedor externo no especializado	No	Sí	No	No
Latencia para tiempo real	Estable	Variable	Variable	Estable
Tiempo estimado a operación productiva	6 a 9 meses	4 a 6 meses	12 a 18 meses	3 a 5 meses
Costo de mantenimiento recurrente	Contrato de soporte	Tarifa por uso	Equipo interno permanente	Contrato de soporte

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

El primer criterio es la ausencia de calibración por usuario. El Vocollect Voice requiere un proceso de entrenamiento por cada operario, en el que el usuario debe pronunciar un conjunto de palabras de referencia para construir un perfil acústico personalizado. Este enfoque, denominado speaker-dependent, prolonga el tiempo de incorporación de personal y degrada el desempeño cuando el operario presenta variaciones temporales de voz, tales como resfriados o fatiga vocal. Lydia Voice, basado en un enfoque speaker-independent con algoritmos de inteligencia artificial entrenados sobre dialectos regionales, permite la interacción inmediata desde el primer uso (EPG, 2022).

El segundo criterio es el desempeño operativo documentado. Comparativas independientes reportan que la migración de Vocollect Voice a Lydia Voice produce incrementos de productividad entre el 7 % y el 15 % y reducciones de la tasa de error entre el 25 % y el 50 %, según el caso de aplicación (EPG, 2022). Estos datos se sustentan en el caso público de Coca-Cola North America, donde la operación contrastada validó el desempeño superior del motor de EPG.

El tercer criterio es la independencia operativa. Los servicios genéricos de reconocimiento de voz en la nube, optimizados para casos de uso de propósito general, presentan tres desventajas para una aplicación logística de tiempo real. La primera es la latencia variable, dado que el procesamiento se ejecuta en servidores compartidos sin garantías de tiempo de respuesta determinista. La segunda es la dependencia de un proveedor no especializado en logística, lo que expone la operación a cambios en políticas de servicio o tarifas. La tercera es el riesgo de seguridad, dado que el envío de datos operativos sensibles a servicios externos genéricos no satisface los estándares de privacidad requeridos en la operación corporativa.

El cuarto criterio es la viabilidad de un desarrollo propio. La construcción de un motor de reconocimiento interno fue descartada por tres razones. Primero, la precisión declarada de Lydia Voice del 99.9 % es resultado de años de entrenamiento del modelo sobre datos reales de operación logística, curva de aprendizaje que replicar requeriría inversión sustancial. Segundo, el ciclo de desarrollo propio retrasaría el time to value del proyecto en al menos doce a dieciocho meses, horizonte incompatible con las metas operativas. Tercero, el mantenimiento posterior del modelo representa un costo recurrente que en una solución propietaria queda absorbido por el contrato de soporte.

El quinto criterio es la configurabilidad regional. Lydia Voice permite la configuración con acentos regionales específicos, en este caso el español ecuatoriano, lo que mejora la precisión del reconocimiento frente al uso de modelos genéricos en español neutro. Esta capacidad es relevante en el contexto del CRD, donde la composición del personal operativo presenta variaciones dialectales que un motor no configurable interpretaría de forma menos consistente.

La elección de Lydia Voice se fundamenta en la combinación equilibrada de cinco atributos: ausencia de calibración por usuario, desempeño operativo certificado, integración nativa con el WMS Oracle vía API REST, independencia de servicios externos genéricos y configuración regional para español ecuatoriano. Esta combinación no se encuentra simultáneamente en las alternativas evaluadas y constituye el criterio técnico que sustenta la selección.

Plataforma y comunicación

El aplicativo Lydia Voice opera en la nube, alojado en los servidores del proveedor EPG. Esta arquitectura en la nube elimina la necesidad de infraestructura de servidores locales dedicados exclusivamente al aplicativo de voz, reduciendo costos de mantenimiento y permitiendo actualizaciones centralizadas.

La comunicación entre Lydia Voice y el sistema WMS Oracle de TIA S.A. se realiza mediante API REST bajo protocolo HTTP. Los datos se sincronizan en tiempo real, lo que significa que cada instrucción de picking generada por el WMS es transmitida instantáneamente al dispositivo del operario, y cada confirmación verbal del operario se registra de forma inmediata en el sistema de inventarios.

Este flujo bidireccional en tiempo real garantiza la integridad y actualización constante de los niveles de stock, evitando discrepancias entre lo registrado en el sistema y lo ejecutado físicamente en el almacén. La Tabla No. 13 resume las especificaciones técnicas del componente de software.

Tabla No. 13. Especificaciones técnicas del software Voice Picking.

Característica	Especificación
Aplicativo	Lydia Voice Picking (EPG)
Motor de reconocimiento	Propietario, basado en algoritmos de inteligencia artificial
Precisión de reconocimiento	99.9% según proveedor EPG
Calibración por usuario	No requerida (interacción inmediata)
Idioma configurado	Español ecuatoriano (configurable multiidioma)
Alojamiento	Nube (servidores del proveedor EPG)
WMS integrado	WMS Oracle (TIA S.A.)

Tipo de interfaz	API REST
Protocolo de comunicación	HTTP
Sincronización de datos	Tiempo real (bidireccional)

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Arquitectura de integración con el sistema de inventarios

La integración entre el aplicativo Lydia Voice y el sistema WMS Oracle de TIA S.A. constituye el pilar tecnológico de la solución. Esta conexión permite que el flujo operativo de la preparación de pedidos se ejecute de manera continua y transparente, sin intervención manual en la transferencia de datos entre sistemas.

El proceso de comunicación se estructura en dos direcciones. En la dirección WMS hacia Lydia Voice, el sistema de gestión de almacenes transmite las instrucciones de picking que incluyen: la ubicación de origen del producto, el código del contenedor asignado, la cantidad de cajas o unidades a recoger, el check digitador de verificación de la ubicación, y la puerta de despacho de destino. En la dirección Lydia Voice hacia WMS, el aplicativo transmite las confirmaciones del operario: la verificación del check digitador (que valida la posición física), la cantidad confirmada verbalmente dígito por dígito, y el registro de finalización de tarea.

Esta arquitectura opera sobre la infraestructura de red WiFi del Centro de Distribución, compuesta por las 16 antenas configuradas en la banda de 5 GHz. Los dispositivos TC52 se conectan a la red WiFi y, a través de ella, acceden tanto a los servidores locales del WMS Oracle como a los servidores en la nube de Lydia Voice. La estabilidad de esta conexión resulta crítica para la operación, ya que cualquier interrupción afectaría directamente la continuidad del proceso de despacho.

La Imagen No. 25, extraída de las pruebas realizadas por el departamento de sistemas, presenta el esquema general de conexión entre los servidores de Lydia Voice y el WMS Oracle. Cabe indicar que, por tratarse de información sensible relacionada con la seguridad informática de la empresa, únicamente se

muestra el esquema general de la arquitectura. Los resultados de las pruebas fueron satisfactorios y confirmaron la viabilidad técnica de la integración.

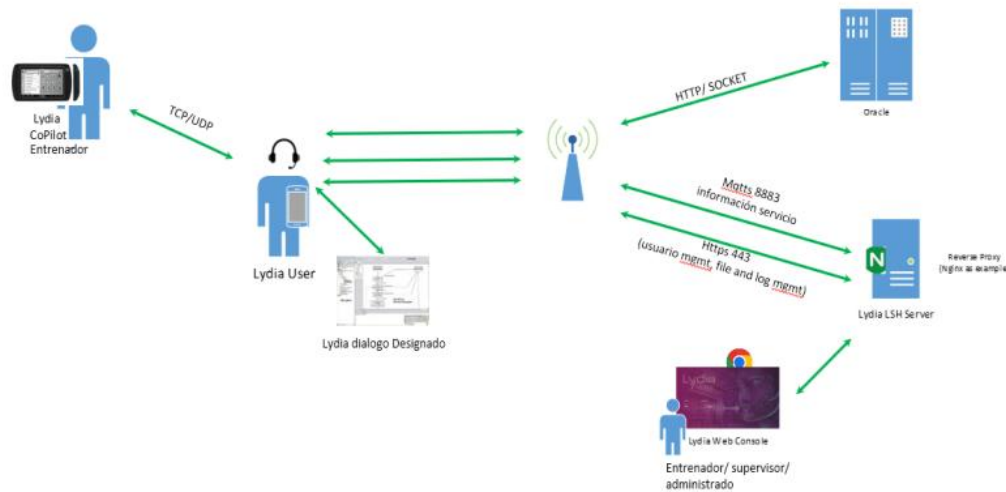


Figura No. 25. Arquitectura para las pruebas realizadas.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Flujo de trabajo consolidado del sistema Voice Picking

El proceso operativo del sistema Voice Picking sigue un ciclo estructurado de cuatro fases que se repite en cada ubicación de picking durante la preparación de un pedido. Este ciclo garantiza que cada interacción entre el operario y el sistema sea verificada antes de proceder a la siguiente tarea.

Fase 1: Llamada (Instrucción del sistema)

El sistema Lydia Voice, a través de los auriculares, comunica al operario la siguiente instrucción de picking. Esta instrucción incluye: el pasillo al que debe dirigirse, la ubicación específica dentro del pasillo, y la cantidad de cajas o unidades que debe recoger. El operario confirma verbalmente el pasillo indicando "Listo" para proceder.

Fase 2: Verificación (Confirmación de ubicación)

Una vez que el operario llega a la ubicación indicada, el sistema solicita la verificación mediante un check digitador de confirmación. Este mecanismo de seguridad consiste en que cada ubicación del almacén tiene asignado un código numérico único que el operario debe dictar al sistema. De esta manera, se valida que el operario se encuentra físicamente en la ubicación correcta antes de proceder con la recolección, eliminando el riesgo de tomar mercadería de una ubicación errónea.

Fase 3: Acción (Recolección y confirmación de cantidad)

Verificada la ubicación, el sistema indica la cantidad a recoger. El operario toma la mercadería del contenedor correspondiente y confirma verbalmente la cantidad recogida, dictando los dígitos uno por uno para mayor precisión. El sistema valida que la cantidad confirmada coincida con la solicitada. En caso de discrepancia, el sistema alerta al operario y solicita una nueva confirmación.

Fase 4: Cierre (Finalización de tarea o continuación)

Una vez confirmada la cantidad, el sistema registra la operación y evalúa si existen más tareas pendientes en el pedido. Si hay más ubicaciones por visitar, el ciclo regresa a la Fase 1 con la siguiente instrucción. Si el pedido está completo, el sistema emite el comando "Dejar en puerta" indicando al operario el número de puerta de despacho donde debe colocar el caddie, procediendo el operario a escanear la etiqueta de la unidad logística para cerrar el proceso (Figura No. 26).

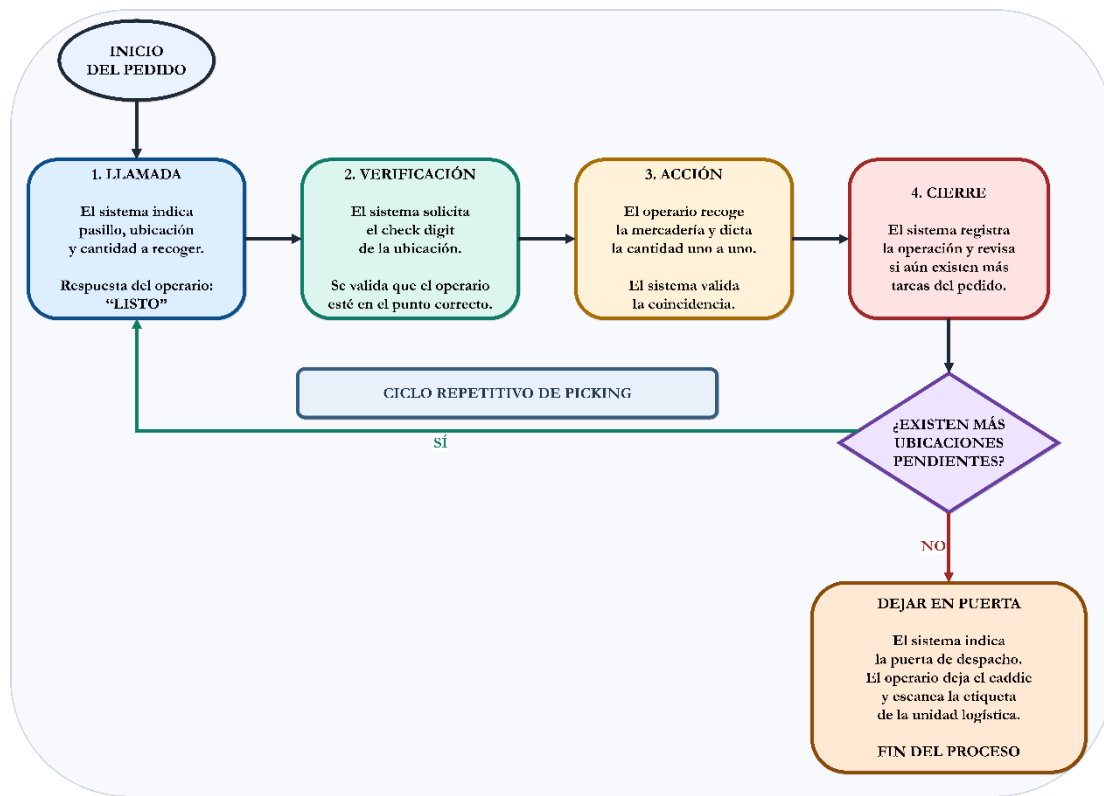


Figura No. 26. Diagrama de flujo general del ciclo Llamada → Verificación → Acción → Cierre.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Diseño de las reglas de voz y creación de comandos

El diseño de los comandos de voz del sistema se fundamentó en criterios de simplicidad, univocidad y eficiencia operativa. Los principios que guiaron el levantamiento de diálogos fueron los siguientes:

- ✓ **Brevedad:** los comandos se diseñaron con palabras cortas y claras que puedan ser pronunciadas y reconocidas rápidamente en un entorno de almacén con ruido ambiental.
- ✓ **Univocidad fonética:** se evitaron comandos que pudieran confundirse entre sí por similitud fonética, reduciendo el riesgo de errores en el reconocimiento de voz.
- ✓ **Confirmación dígito por dígito:** las cantidades se confirman dictando cada número por separado (por ejemplo, "uno-dos" para 12 unidades en lugar de "doce"), lo que incrementa la precisión del reconocimiento y reduce errores de interpretación.

- ✓ **Check digitador de seguridad:** cada ubicación cuenta con un código numérico único que el operario debe dictar para confirmar que se encuentra físicamente en el punto correcto. Este mecanismo fue diseñado para eliminar los errores de "despacho otra ubicación" identificados en el diagnóstico.
- ✓ **Comandos de servicio:** se incluyeron comandos auxiliares como "Repetir", "Lydia Pausa", "Lydia Despierta", "Volumetría", "Inventario" y "Saltar" que permiten al operario gestionar situaciones excepcionales sin interrumpir el flujo general de trabajo.

De acuerdo con el proveedor EPG, la precisión de reconocimiento de voz del sistema Lydia Voice es del 99.9%, ya que al interactuar con el usuario el reconocimiento es fluido y no presenta problemas. El sistema fue configurado con acento local (español ecuatoriano) y no requiere proceso de calibración inicial de voz por usuario, gracias a sus algoritmos de inteligencia artificial que permiten la interacción inmediata.

Integración con el sistema de inventarios de la empresa

La conexión entre el aplicativo Lydia Voice y el sistema de gestión de almacenes (WMS) de TIA S.A. constituye el pilar tecnológico de la solución. Esta integración permite que las instrucciones de picking generadas por el WMS sean transmitidas en tiempo real al aplicativo de voz, y que las confirmaciones del operario se registren automáticamente en el sistema de inventarios, actualizando los niveles de stock de forma inmediata.

Aplicación de la propuesta

Para la aplicación de la herramienta Voice Picking se llevó a cabo un conjunto de actividades secuenciales que se describen a continuación, con sus correspondientes evidencias.

- Levantamiento y diseño del proceso de Lydia Voice

La Figura No. 27 presenta el diseño gráfico del proceso de Voice Picking, elaborado durante la fase de levantamiento en coordinación con el proveedor EPG.

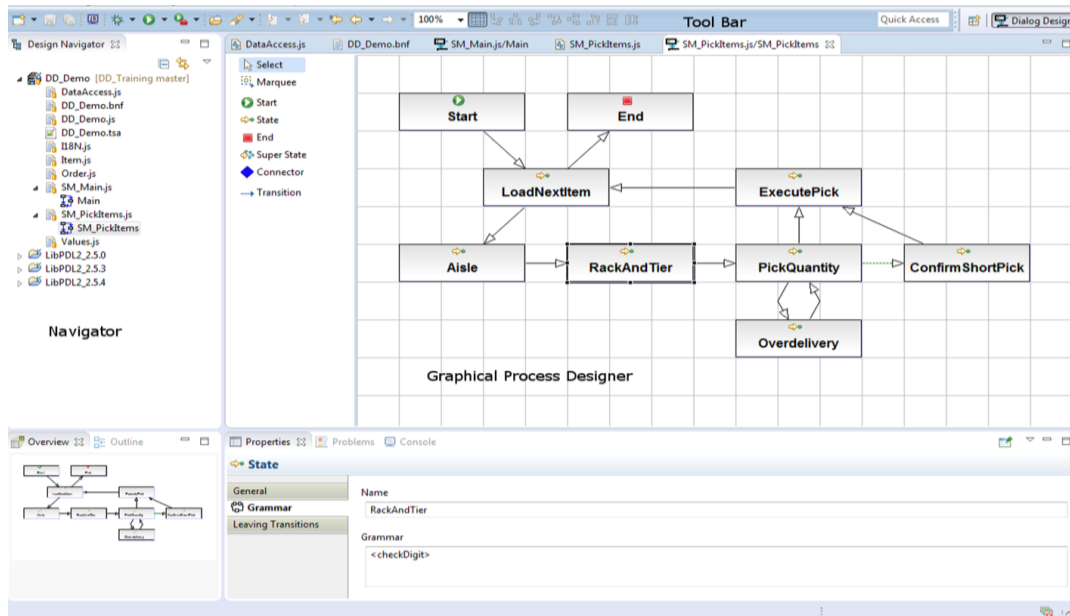


Figura No. 27. Diseño gráfico del proceso.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

- Desarrollo e interfaces de WMS y Lydia Voice

La Figura No. 28 muestra la fase de desarrollo de las interfaces entre el sistema WMS Oracle y el aplicativo Lydia Voice, donde se configuraron los protocolos de comunicación API REST.

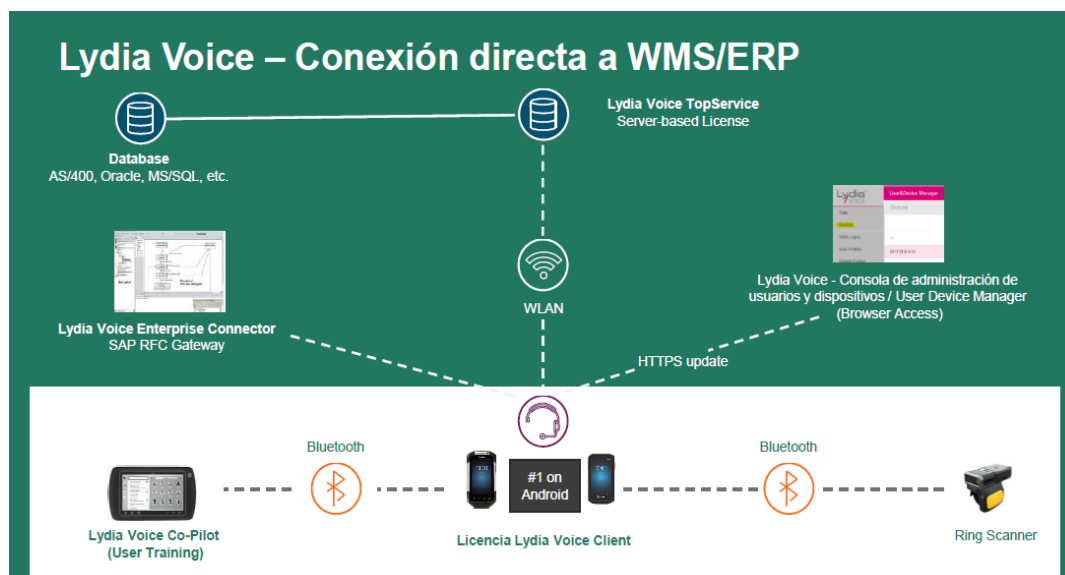


Figura No. 28. Desarrollo de interfaces WMS / Lydia.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

- Socialización y capacitación de Lydia Voice

La Figura No. 29 evidencia las sesiones de socialización y capacitación realizadas con el personal operativo del área de despacho, previas a la puesta en marcha del sistema.

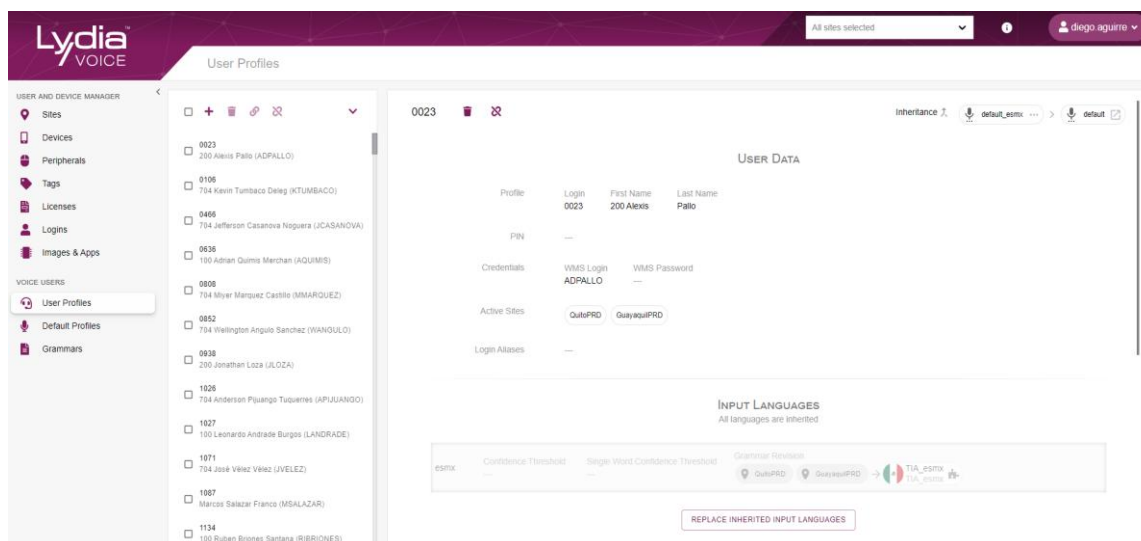


Figura No. 29. Socialización y capacitación.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

- Aplicación Go Live

La Figura No. 30 documenta la puesta en marcha (Go Live) del sistema Voice Picking en ambiente de producción.

Search devices		All tags	200 x	Hide offline	14 filtered devices of 121			DETAILS	USER	DEVICE
Wi-Fi AP MAC	User Login	Voice Login Name	Output Volume	Output Speed	Power Supply	User Name	Site			
c0:c7:0a:90:b6:f5	JBAILON	1365	90 %	260 %	82 %	200 Jefferson Bailon Mera	QuitoPRD			
c0:c7:0a:90:b6:f5	JTOAPANTA	2587	73 %	200 %	79 %	200 Jorge Toapanta Pantusin	QuitoPRD			
c0:c7:0a:90:b6:f5	AARGUELLO	9854	80 %	100 %	86 %	200 ANIBAL ARGUELLO	QuitoPRD			
c0:c7:0a:90:b6:b5	JMERO	5025	100 %	400 %	79 %	200 Jhon Mero Zambrano	QuitoPRD			
c0:c7:0a:90:b6:f5	ETENEMAZA	1667	100 %	160 %	86 %	200 Edwin Tenemaza Cocha	QuitoPRD			
c0:c7:0a:90:b6:b5	DSINGO	2921	100 %	400 %	83 %	200 Diego Singo Quimbargo	QuitoPRD			
c0:c7:0a:90:b7:05	JTIBAN	5481	100 %	50 %	68 %	200 Jonathan Tiban Cajamarca	QuitoPRD			
c0:c7:0a:90:b6:f5	HGAMARRA	4084	90 %	220 %	80 %	200 Harrington Gamarra Valencia	QuitoPRD			
3c:46:a1:a6:91:05	JFLORES	5587	100 %	160 %	81 %	200 Jonnathan Flores Caiza	QuitoPRD			
c0:c7:0a:90:b6:f5	CANDRADE	2736	100 %	300 %	82 %	200 Cristian Andrade Guachamin	QuitoPRD			
3c:46:a1:a6:b9:25	WCAIZA	2635	100 %	230 %	79 %	200 William Caiza	QuitoPRD			
c0:c7:0a:90:b6:f5	JBONILLA	5474	100 %	350 %	76 %	200 Josué Bonilla Cachimuel	QuitoPRD			
c0:c7:0a:90:b6:b5	JIMBA	2895	100 %	100 %	77 %	200 Javier Imba Chipatansi	QuitoPRD			
c0:c7:0a:90:b6:f5	VTUSA	2708	80 %	260 %	82 %	200 Victor Tusa Cuzme	QuitoPRD			

Figura No. 30. Puesta en marcha.
Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Resultados esperados

Como resultados esperados, se plantea mejorar el indicador de productividad en el área de despacho, alcanzando un incremento aproximado del 10 % a nivel general. De manera complementaria, se busca optimizar la precisión en la recolección de pedidos, reduciendo los errores recurrentes, en particular aquellos asociados al multidespacho.

Asimismo, mediante el uso de este aplicativo, se pretende generar en los usuarios una mayor comprensión acerca de la relevancia de sus funciones dentro del proceso y del impacto que tiene su desempeño en la eficiencia global de la operación. Este objetivo se alinea con la visión de la gerencia del Centro Regional de Distribución, fortaleciendo la colaboración entre el personal operativo y la administración para garantizar una mejora sostenible en los resultados logísticos.

Cronograma de actividades

La Figura No. 31, muestra las planificaciones realizadas por cada mes para el correcto funcionamiento de la aplicación Voice Picking, cabe indicar que en el mes de septiembre se encuentra en seguimiento la estabilidad del proyecto.

Análisis de costos

La inversión total del proyecto Voice Picking asciende a \$317,942 (Tabla No. 14), distribuida en dos grandes componentes: software (licencias, soporte y servicios profesionales) por \$159,560 y hardware (equipos TC52, auriculares HS3100 y soporte) por \$158,382. El desembolso se realizó de forma escalonada entre los meses de marzo y octubre de 2025. Asimismo, la Figura No. 32 expone la distribución de la inversión total.

Tabla No. 14. Detalle de inversión, software y hardware.

Software		
Descripción	Cantidad	Inversión
Licencias + Soporte	70	\$70,560
Servicios Profesionales	1	\$89,000
Total, Software		\$159,560
Hardware		
Equipos TC52	53	\$54,671
Auriculares HS3100	136	\$80,630
Soporte Hardware		\$23,081
Total, Hardware		\$158,382
Inversión total del proyecto		\$ 317,942

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

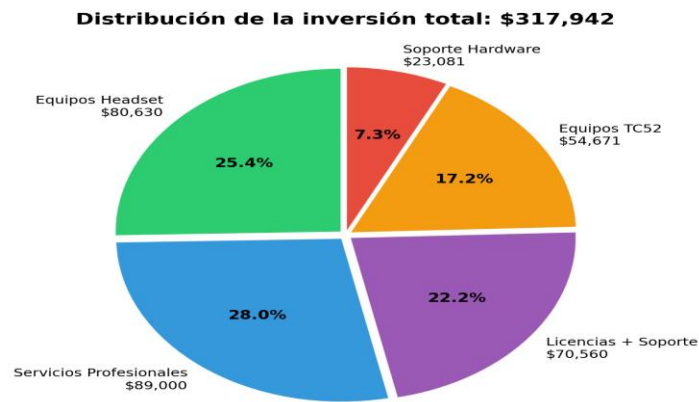


Figura No. 32. Distribución de la inversión.

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Curva S

La curva S, expuesta en la Figura No.33, muestra el avance acumulado de la inversión del proyecto a lo largo de los meses de ejecución, desde marzo hasta octubre de 2025. El desembolso se concentró principalmente en los meses de marzo a julio, con el 92% de la inversión ejecutada para el mes de agosto, coincidiendo con la estabilización operativa del sistema.

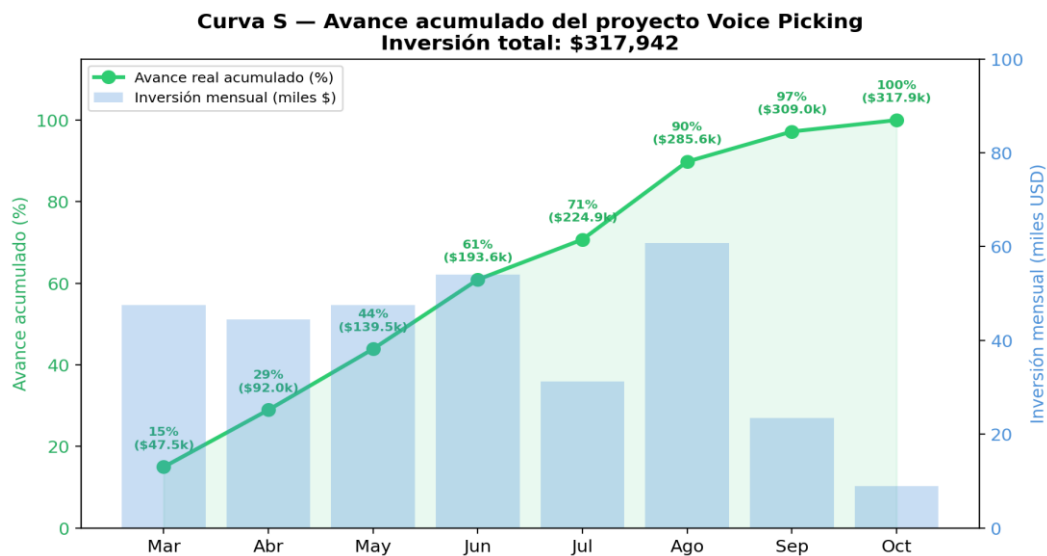


Figura No. 33. Curva S, avance acumulado del proyecto Voice Picking.

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Componente ambiental

En el marco de la implementación de la herramienta Voice Picking, se identifican los siguientes aspectos ambientales relacionados con el proyecto.

✓ Reducción de uso de papel

La transición del sistema basado en dispositivos PDT con digitación manual hacia un modelo de comandos por voz reduce la necesidad de impresión de listados auxiliares de picking y reportes de verificación en papel que anteriormente eran utilizados como respaldo por los operarios durante la

preparación de pedidos. Si bien el sistema PDT ya era digital, la mayor confiabilidad del Voice Picking disminuye la dependencia de documentos físicos de soporte.

✓ **Consumo energético de equipos**

La incorporación de nuevos dispositivos portátiles (terminales de voz, auriculares inalámbricos) y la infraestructura de red WiFi adicional representan un incremento marginal en el consumo eléctrico del Centro de Distribución. No obstante, este consumo se compensa parcialmente con la mayor eficiencia operativa alcanzada, que reduce los tiempos de operación y, por consiguiente, el uso prolongado de luminarias, sistemas de climatización y equipos de transporte interno durante las jornadas de despacho.

✓ **Gestión de residuos electrónicos**

La implementación genera la necesidad de establecer un protocolo de gestión para los residuos electrónicos derivados del ciclo de vida de los equipos utilizados (baterías, auriculares, terminales). Se recomienda que la empresa coordine con el proveedor un plan de disposición final responsable de los equipos al término de su vida útil, en cumplimiento con la normativa ambiental vigente.

CAPÍTULO IV

EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA Y RESULTADOS OBTENIDOS

Proceso de ejecución

Justificación de la ejecución

La ejecución de la propuesta de Voice Picking se justifica a partir de los hallazgos obtenidos en el diagnóstico de la situación actual del área de despacho del Centro Regional de Distribución. Como se evidenció en el Capítulo II, la operación presentaba una productividad promedio de 208 bultos por hora-hombre y una precisión del 99.03% en la preparación de pedidos mediante dispositivos PDT. Sin embargo, los errores recurrentes identificados — multidespacho, picado y no enviado, despacho en otra ubicación, errores en cantidades y mal en puerta — generaban costos adicionales por devoluciones, reprocesos y afectación a la satisfacción del cliente interno.

Tras la validación exitosa de las pruebas de interfaz entre el aplicativo Lydia Voice y el sistema WMS, así como la capacitación del personal operativo compuesto por 24 colaboradores del área, se determinó que las condiciones técnicas y organizacionales estaban dadas para proceder con la implementación en ambiente de producción. La aprobación de la gerencia del Centro Regional de Distribución respaldó esta decisión, alineada con la estrategia de mejora continua de la compañía.

Desarrollo y seguimiento

La puesta en marcha del sistema Voice Picking en ambiente de producción (Go Live) se inició el 15 de julio de 2025. El período de adaptación se extendió hasta el 31 de julio, abarcando 17 días calendario durante los cuales los operarios se familiarizaron con los comandos de voz y ajustaron su ritmo de trabajo al nuevo esquema operativo.

Durante esta fase inicial, se presentaron tres incidencias técnicas que fueron resueltas de manera oportuna, como se describe a continuación.

Incidencia 1: Intermitencia en la red (Package Error)

Se detectó intermitencia en la comunicación WiFi del Centro de Distribución, generando errores de tipo "Package Error" entre los dispositivos y el servidor de Lydia Voice. La Figura No. 34 muestra la captura de pantalla registrada en el dispositivo TC52 durante la ocurrencia de este error, donde se observa el mensaje "PACKAGE_ERROR: ORA-01400: cannot insert NULL" indicando una falla en la transmisión de datos hacia la base de datos del WMS.

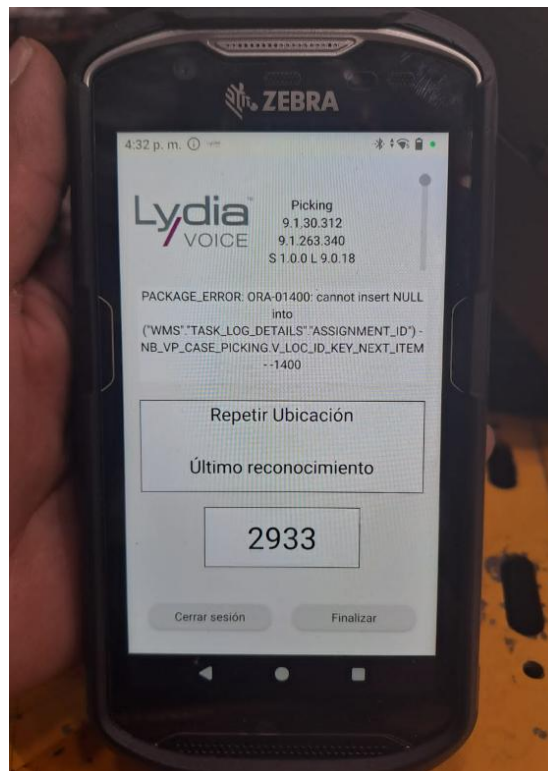


Figura No. 34. Captura del error Package Error en dispositivo TC52 durante el Go Live.

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

La solución consistió en migrar los equipos de Voice Picking a la banda de 5 GHz, lo que proporcionó una velocidad de respuesta efectiva superior entre equipos y antenas, eliminando la recurrencia del problema.

Incidencia 2: Bloqueo de pantalla en dispositivos

En momentos puntuales, el equipo TC52 se bloqueaba y desconectaba al operario de las tareas asignadas. El diagnóstico identificó una falla en el proceso de actualización de los aplicativos de Voice. La solución implementada fue configurar la actualización automática al encender el equipo, lo que resolvió definitivamente la incidencia.

Incidencia 3: Error "Undefined" en el sistema

Este error de software se producía cuando el sistema intentaba mostrar un dato que no había sido cargado correctamente en la base de datos del WMS. La Figura No. 35 presenta las capturas de pantalla que documentan esta incidencia: a la izquierda se observa la pantalla bloqueada con el campo "Last Recognition" vacío, y a la derecha el mensaje "undefined" desplegado en la interfaz de picking del aplicativo Lydia Voice.

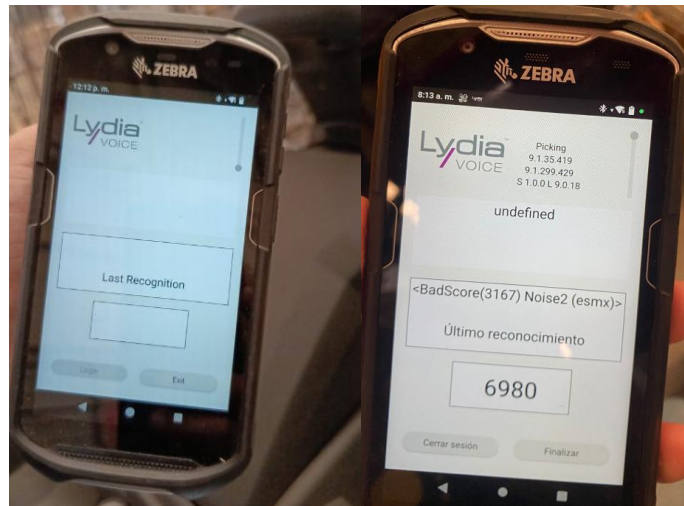


Figura No. 35. Capturas del error Undefined en el aplicativo Lydia Voice.

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

El proveedor EPG corrigió el problema mediante ajustes en la interfaz de comunicación entre los servidores. Es importante señalar que no fue necesario realizar modificaciones en los comandos de voz después del Go Live; las correcciones se concentraron exclusivamente en la estabilidad de la infraestructura tecnológica.

Operación en ambiente de producción

Superado el periodo de adaptación, a partir de agosto de 2025 el sistema alcanzó la estabilidad operativa. La Figura No. 36 presenta capturas de pantalla del aplicativo Lydia Voice funcionando en ambiente de producción real. En el panel izquierdo se observa la interfaz de inicio de sesión, mientras que en el panel derecho se muestra una instrucción activa de picking indicando "Colocar en 3" al operario.

Desde la perspectiva técnica, estas capturas permiten verificar tres aspectos relevantes del sistema en operación real. En primer lugar, la interfaz de inicio de sesión muestra los identificadores capturados por reconocimiento de voz, lo que evidencia la ejecución correcta del flujo de autenticación validado en el Capítulo II.

En segundo lugar, la pantalla de picking activo presenta el estado de la sesión, el contexto de la tarea y la siguiente instrucción consolidada en un solo bloque visual, lo que permite al supervisor verificar la trazabilidad de cada acción del operario. En tercer lugar, el formato compacto de la instrucción "Colocar en 3" confirma la implementación efectiva del principio de brevedad definido durante el diseño de las reglas de voz, orientado a reducir el tiempo de interpretación y respuesta en cada interacción.

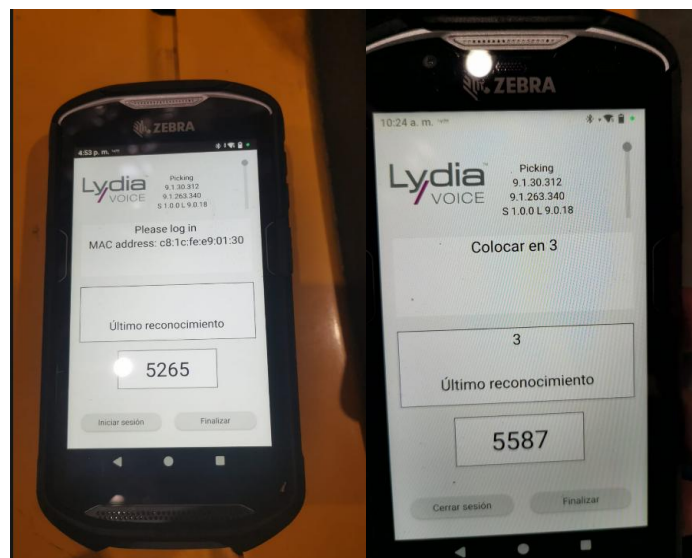


Figura No. 36. Interfaz de Lydia Voice en operación real — inicio de sesión y proceso de picking activo.

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Como parte de la infraestructura operativa, la Figura No. 37 muestra la estación de carga de baterías de los auriculares HS3100, donde se observa la organización de las 27 baterías de respaldo destinadas a garantizar la continuidad del servicio durante los turnos de trabajo.

El análisis técnico de esta evidencia revela el dimensionamiento adecuado del recurso de respaldo frente a la demanda operativa. Considerando que cada auricular HS3100 ofrece una autonomía de ocho a nueve horas por carga y que el turno operativo del área de despacho requiere uso continuo del equipo, las 27 baterías de respaldo permiten cubrir un turno completo sin que el operario deba interrumpir su actividad para recargar.

La estación de carga se ubica en una zona accesible al personal y opera bajo un protocolo de intercambio rápido. El operario retira el auricular agotado, lo deposita en su posición de carga y toma uno con carga completa, con una interrupción no superior a un minuto. Esta configuración elimina los tiempos muertos asociados a la espera de carga y constituye una decisión de diseño operativo que sostiene la continuidad de la productividad observada en los meses de análisis.



Figura No. 37. Estación de carga de baterías HS3100.

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

La Figura No. 38 presenta evidencia fotográfica del check digitador instalado en las ubicaciones del almacén, donde se observan los códigos numéricos únicos (por ejemplo, 092 y 685) que el operario debe dictar verbalmente al sistema para confirmar su presencia física en la ubicación correcta. Este elemento constituye el mecanismo central de mitigación del error de despacho en otra ubicación identificado en el Capítulo II.

El diseño de los códigos cumple tres principios técnicos. El primero es la unicidad, dado que no se repiten códigos en ubicaciones distintas dentro del almacén, lo que evita ambigüedad. El segundo es la longitud reducida, con códigos de tres dígitos que minimizan el tiempo de dictado y reducen la probabilidad de error fonético en el reconocimiento. El tercero es la aleatoriedad relativa, ya que los códigos no siguen una secuencia previsible que el operario pueda memorizar e introducir sin verificación física.

Esta tercera condición es la que diferencia al check digitador de un mero código de ubicación. El operario no puede pronunciar el código correcto sin estar físicamente frente a la etiqueta, lo que neutraliza la práctica de digitación anticipada que en el método PDT permitía confirmar ubicaciones de memoria. La barrera de control opera, por tanto, sobre la causa raíz transversal del error y no sobre sus síntomas.





Figura No. 38. Check digitador instalado en las ubicaciones del almacén.

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Herramientas de seguimiento y monitoreo

A partir del mes de agosto de 2025, se alcanzó la estabilidad operativa del sistema, punto en el cual los indicadores de productividad y precisión comenzaron a reflejar de manera consistente los beneficios de la herramienta. El seguimiento se realizó mediante tres herramientas complementarias:

- **BI Publisher:** para la generación de reportes de productividad individual y colectiva de los operarios, con datos extraídos de la integración WMS-Lydia Voice.
- **Plataforma Lydia Voice:** para el monitoreo en tiempo real del estado de los dispositivos, velocidad de voz, volumen de salida, vinculación y nivel de batería de los equipos.
- **Aplicación Copilot:** para el seguimiento en tiempo real de la interacción del usuario con el aplicativo, evaluando la forma en que responde y confirma las solicitudes durante la preparación de pedidos.

Resultados obtenidos

Presentación de resultados obtenidos

Los resultados que se presentan a continuación corresponden al periodo de operación estabilizada con Voice Picking, comprendido entre agosto y octubre de 2025. La definición de este periodo de análisis

es una decisión metodológica que requiere justificación explícita, dado que excluye los meses de noviembre y diciembre del mismo año.

El diseño cuasi-experimental adoptado en este trabajo compara los indicadores del proceso antes (PDT, enero a junio de 2025) y después (Voice Picking, agosto a octubre de 2025) de la intervención. La validez de este tipo de diseños depende del supuesto de comparabilidad, que exige homogeneidad de las condiciones operativas entre ambos periodos en todas las variables relevantes distintas a la intervención misma (Klumpp & Loske, 2021b).

La inclusión de noviembre y diciembre vulneraría este supuesto por la presencia simultánea de tres factores extraordinarios que actúan como variables de confusión. Estos factores se sintetizan en la Tabla No. 15 y se desarrollan a continuación.

Tabla No. 15. Factores de confusión que justifican la exclusión de noviembre y diciembre de 2025.

Factor	Condición en agosto-octubre	Condición en noviembre-diciembre	Implicación metodológica
Método de captura	Voice Picking exclusivo	Voice Picking más PDT (personal temporal)	Imposibilidad de aislar el efecto neto del Voice Picking
Volumen operativo	Régimen estándar	Volumen duplicado	Indicadores fuera del régimen estable de comparación
Mix de operación	Estructura regular de SKU	Concentración de productos estacionales	Cambio en la dificultad intrínseca del picking
Composición del personal	Plantilla estable y capacitada	Plantilla regular más operadores temporales	Heterogeneidad en la curva de aprendizaje
Cumplimiento del supuesto de comparabilidad	Sí	No	Validez del análisis pre-post asegurada solo en agosto-octubre

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Factor 1: Mezcla de métodos de captura

Durante la temporada alta navideña, el Centro Regional de Distribución incorpora personal de apoyo temporal que opera con dispositivos PDT, dado que su periodo de permanencia es demasiado corto para amortizar la curva de aprendizaje del Voice Picking. Como consecuencia, los meses de noviembre y

diciembre operan con una población mixta de usuarios bajo dos tecnologías distintas. Cualquier variación observada en los indicadores agregados durante estos meses no podría atribuirse exclusivamente al efecto del Voice Picking, lo que invalida la inferencia causal del análisis.

Factor 2: Distorsión del volumen operativo

El volumen de despacho durante temporada alta se duplica respecto a un periodo regular, lo que desplaza al sistema fuera de su régimen estable de operación. La productividad por hora-hombre en estos meses se ve afectada por factores ajenos a la herramienta de captura, tales como tiempos extendidos de turno, mayor presión por cumplimiento, fatiga acumulada y picos de demanda no homogéneos a lo largo del día. Estos factores introducen variabilidad sistemática que no representa el desempeño habitual del proceso.

Factor 3: Cambio en el mix de operación

La temporada alta concentra de forma desproporcionada categorías estacionales tales como juguetería, productos navideños y alimentos de fiesta, cuyos perfiles de picking difieren del mix regular tanto en volumetría por línea como en complejidad de armado del pedido. Esta variación cambia la dificultad intrínseca de la operación y, por lo tanto, no permite una comparación equivalente con el periodo enero a junio de la línea base.

Desde la perspectiva del control estadístico de procesos, la inclusión de meses sometidos a estos tres factores extraordinarios viola el supuesto de estabilidad estadística del proceso, requerimiento para que las medidas descriptivas tales como la media y la dispersión tengan significado interpretativo. La exclusión de noviembre y diciembre no constituye, por tanto, una omisión arbitraria de datos, sino la aplicación del criterio técnico de aislar la fase de operación bajo control común, que es la única ventana en la que el indicador refleja el efecto neto del Voice Picking.

Filtro "Olas agotados: Falso"

Por la misma razón de comparabilidad, los datos de productividad fueron extraídos del sistema BI Publisher aplicando el filtro "Olas agotados: Falso". Este filtro excluye específicamente los despachos asociados a olas con stock agotado, dado que estos despachos continúan ejecutándose con dispositivos PDT por razones de eficiencia operativa. Cuando el sistema detecta agotamiento, el operario recibe instrucciones complementarias que el flujo estandarizado de Voice Picking no contempla, y el procedimiento se completa fuera del aplicativo Lydia Voice.

La inclusión de estos despachos contaminaría la muestra de Voice Picking con registros que en realidad corresponden al método PDT. Por lo tanto, este filtro no introduce un sesgo de selección, sino que aísla los despachos efectivamente ejecutados con la nueva herramienta y consolida un conjunto de datos válido para la comparación pre-post.

Productividad mensual: período completo enero-octubre 2025

La Figura No. 39 presenta la evolución de la productividad del área de despacho a lo largo de diez meses, permitiendo observar tres fases diferenciadas: el período con PDT (enero-junio), el mes de adaptación (julio) y el período de operación estable con Voice Picking (agosto-octubre).

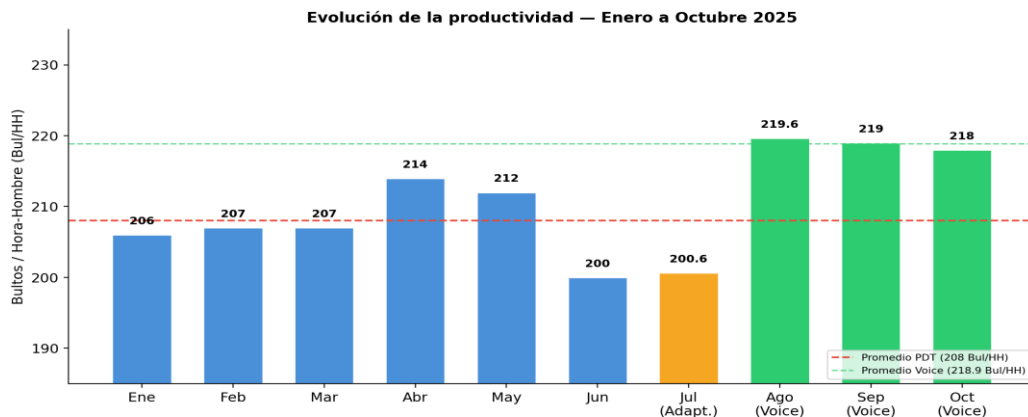


Figura No. 39. Evolución de la productividad del área de despacho, enero a octubre 2025.

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Como se observa, durante el período con PDT la productividad promedió 208 Bul/HH, con un rango entre 200 (junio) y 214 (abril). El mes de julio registró 200.64 Bul/HH, cifra consistente con la curva de aprendizaje esperada. A partir de agosto, con el sistema estabilizado, la productividad se elevó y se mantuvo de manera consistente por encima del promedio histórico.

La Figura No. 40 detalla la productividad mensual durante los tres meses de operación estabilizada, evidenciando la consistencia del indicador: 219.64 Bul/HH en agosto, 219 Bul/HH en septiembre y 218 Bul/HH en octubre, con un promedio de 218.9 Bul/HH. Esto representa un incremento del 5.2% sobre el promedio histórico con PDT.

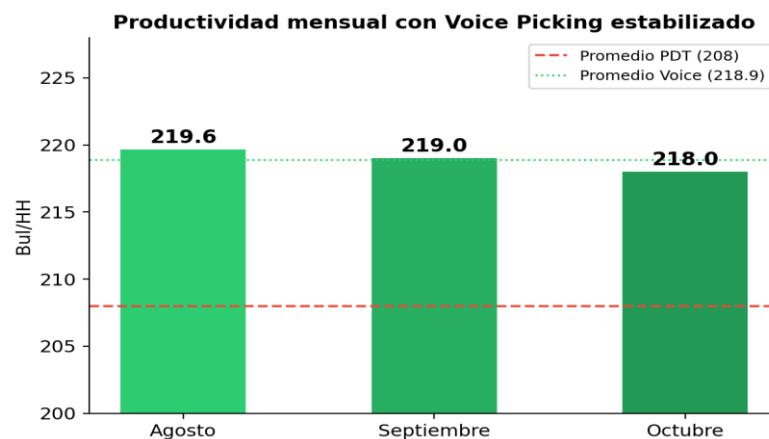


Figura No. 40. Productividad mensual con Voice Picking estabilizado (Ago-Oct 2025).

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Productividad diaria: análisis del mes de agosto 2025

Para evaluar la estabilidad intradía del indicador, la Figura No. 41 presenta la productividad diaria del mes de agosto, primer mes de operación estabilizada. Se observa que la productividad osciló entre 199.61 Bul/HH (día 16) y 237.86 Bul/HH (día 26), con una media de 220 Bul/HH. La variabilidad es

consistente con las fluctuaciones normales de la operación logística y no presenta tendencias descendentes, confirmando la estabilidad del sistema.



Figura No. 41. Productividad diaria - agosto 2025 (Voice Picking estabilizado).

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Productividad individual: análisis por operario

La Figura No. 42 compara la productividad individual de cada operario con Voice Picking frente a su desempeño histórico con PDT. De los 20 operarios con datos comparables, 18 (90%) presentaron mejoras en su productividad, con incrementos que oscilan entre el 3% y el 53%.

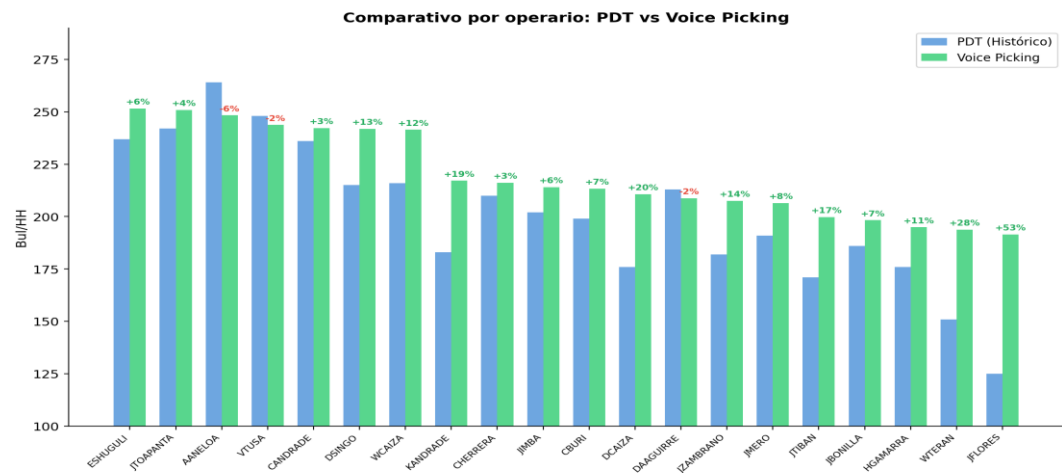


Figura No. 42. Comparativo de productividad por operario — PDT vs Voice Picking.

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Los incrementos más significativos se registraron en operarios como WTERAN (+28%), DCAIZA (+20%), KANDRADE (+19%) y JTIBAN (+17%). Es pertinente señalar que los dos operarios que presentaron decrementos (AANELOA con -6% y VTUSA con -2%) corresponden a usuarios que previamente, con el dispositivo PDT, digitaban ubicaciones y confirmaban cantidades de memoria sin realizar el procedimiento completo.

Esta práctica, si bien generaba una productividad aparente elevada, era precisamente una de las causas raíz de los errores de despacho identificados en el diagnóstico. Con Voice Picking, estos operarios ejecutan el procedimiento completo con verificación en cada paso, lo que explica el ajuste en su indicador individual y, simultáneamente, la mejora en la precisión global del área.

Análisis estadístico

La Tabla No. 16 presenta las estadísticas descriptivas comparativas entre el período con PDT (enero-junio 2025) y el período con Voice Picking estabilizado (agosto-octubre 2025), consolidando los principales indicadores de desempeño del área de despacho.

Tabla No. 16. Estadísticas descriptivas comparativas.

Indicador	PDT (Ene-Jun)	Voice (Ago-Oct)
Productividad promedio (Bul/HH)	208.00	218.88
Productividad mínima mensual	200 (junio)	218 (octubre)
Productividad máxima mensual	214 (abril)	219.64 (agosto)
Precisión preparación de pedidos	99.03%	99.90%
Operarios con mejora individual	N/A	18 de 20 (90%)
Variación productividad		+5.2%
Variación precisión		+0.87 pp

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Los datos de la Tabla No. 16 evidencian mejoras en ambos indicadores clave. La productividad se incrementó en un 5.2%, pasando de 208 a 218.88 Bul/HH como promedio trimestral. La precisión en la preparación de pedidos mejoró en 0.87 puntos porcentuales, pasando de 99.03% a 99.90%, lo que implica una reducción del 89.7% en la tasa de error residual (de 0.97% a 0.10%).

A nivel individual, el análisis confirma que la herramienta beneficia al conjunto de la operación. Los incrementos individuales oscilan entre el 3% y el 53%, con una media del 11.4% para los 18 operarios que mejoraron su desempeño. Este resultado demuestra que Voice Picking no solo corrige los errores procedimentales, sino que también potencia la capacidad productiva de los usuarios.

Evaluación de la ejecución

Análisis comparativo

La Figura No. 43 sintetiza el impacto del Voice Picking sobre los dos indicadores estratégicos del área de despacho, permitiendo una comparación visual directa entre el rendimiento con PDT y con la nueva herramienta.

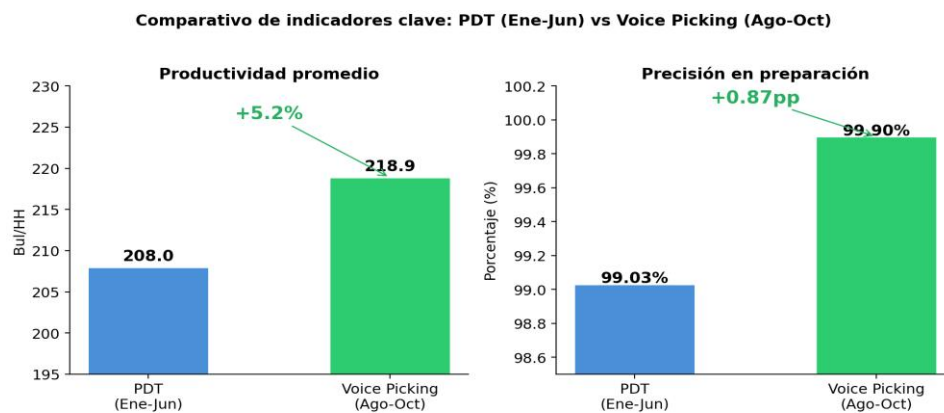


Figura No. 43. Comparativo de indicadores clave, PDT(Ene-Jun) vs Voice Picking (Ago-Oct).

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

La Tabla No. 17 complementa el análisis gráfico con un comparativo integral que abarca no solo los indicadores cuantitativos, sino también las mejoras cualitativas en el método de trabajo.

Tabla No. 17. Comparativo integral antes y después de la implementación.

Indicador	ANTES (PDT)	DESPUÉS (Voice)	Variación
Productividad (Bul/HH)	208	218.88	+5.2%
Precisión pedidos	99.03%	99.90%	+0.87 pp

Confirmación	Digitación manual	Comando voz + check	Sin digitación
Manos libres	No	Sí	Mejora ergonómica
Verificación ubicación	No verificada	Check digitador	Elimina error ubicación

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Como se observa en la Tabla No. 17, la mejora no se limita a los indicadores numéricos. La eliminación de la digitación manual y la incorporación del check digitador de verificación de ubicación representan un cambio estructural en el proceso que ataca directamente las causas raíz de los errores identificados en el diagnóstico.

Evaluación económica

La inversión total del proyecto Voice Picking ascendió a \$317,942, distribuida en dos componentes principales: software, que incluye licencias, soporte y servicios profesionales, por \$159,560 (50.2%); y hardware, conformado por equipos TC52, auriculares HS3100 y soporte técnico, por \$158,382 (49.8%). El desembolso se ejecutó de forma escalonada entre marzo y octubre de 2025, conforme al cronograma de pagos acordado con el proveedor EPG.

El incremento del 5.2 % en productividad representa aproximadamente 10.88 bultos adicionales por hora-hombre, lo que se traduce, en términos operativos, en una mayor capacidad de procesamiento sin incremento de personal. La interpretación económica del cambio en la precisión, en cambio, requiere transformar la variación expresada en puntos porcentuales en una reducción relativa de la tasa de error, magnitud que constituye el indicador económicamente relevante. A continuación, se presenta el desarrollo formal del cálculo y la discusión técnica de la brecha entre el resultado esperado y el alcanzado en productividad.

Definición de la tasa de error residual

La precisión observada del proceso se reporta como porcentaje de operaciones de despacho ejecutadas sin inconsistencias. Para evaluar el efecto del Voice Picking sobre la calidad de la operación, la magnitud relevante no es la variación en puntos porcentuales de la precisión, sino la reducción relativa de

la tasa de error residual. Esta tasa se define como el complemento de la precisión, es decir, el porcentaje de operaciones que presentan algún tipo de inconsistencia.

Bajo este marco, la tasa de error residual del periodo con PDT se obtiene del complemento de la precisión registrada del 99.03 %, lo que equivale a 0.97 %. Para el periodo con Voice Picking estabilizado, la tasa equivalente se obtiene del complemento de la precisión del 99.90 %, lo que equivale a 0.10 %.

Desarrollo del cálculo

La reducción relativa de la tasa de error residual se calcula como la diferencia absoluta de las tasas dividida por la tasa inicial, expresada en porcentaje. Esta forma de cálculo es la estandarizada en gestión de la calidad para reportar mejoras en procesos de bajo nivel de defectos (Klumpp & Loske, 2021b).

$$\text{Reducción relativa} = \frac{(\text{Tasa de error PDT} - \text{Tasa de error Voice})}{\text{Tasa de error PDT}} \times 100 \% \quad (1)$$

Sustituyendo los valores observados:

$$\text{Reducción relativa} = (0.97 \% - 0.10 \%) / 0.97 \% \times 100 \% \quad (2)$$

$$\text{Reducción relativa} = 0.87 / 0.97 \times 100 \% = 89.69 \% \approx 89.7 \% \quad (3)$$

Interpretación operativa

La interpretación operativa de este resultado es directa. Por cada cien incidencias que se registraban bajo el método PDT, con Voice Picking se registran aproximadamente diez. Esto equivale a una reducción cercana a un orden de magnitud completo en la tasa de defectos del proceso, alineada con los principios del control estadístico de calidad orientado a niveles bajos de defectos por unidad (Ferrer-Blas et al., 2024). El impacto económico de esta reducción se traduce en menores costos por reprocesos, devoluciones, ajustes de inventario y reclamos del cliente interno.

Discusión de la brecha entre la meta esperada y el resultado alcanzado en productividad.

El resultado obtenido en productividad de +5.2 % es inferior a la meta de referencia inicial de +10 %, señalada por la literatura del proveedor y citada en el Capítulo III como expectativa del proyecto. Esta brecha requiere una explicación técnica que contemple las características específicas de la línea base, el horizonte temporal del análisis y la naturaleza del indicador utilizado. A continuación, se desarrollan cuatro factores explicativos, sintetizados en la Tabla No. 18.

Tabla No. 18. Factores que explican la brecha entre el resultado esperado (10 %) y el alcanzado (5.2 %) en productividad.

Factor	Descripción	Efecto sobre la brecha
Línea base elevada	PDT operaba a 208 Bul/HH frente a meta interna de 200	Reduce el margen de mejora marginal disponible
Horizonte temporal del análisis	Tres meses post-Go Live (curva de adopción esperada de 6 a 12 meses)	Captura desempeño temprano, no el desempeño asintótico
Heterogeneidad del personal	Dos operarios con prácticas inadecuadas en PDT corrigen su procedimiento	Sin estos casos, el incremento promedio asciende a 11.4 %
Naturaleza bidimensional del beneficio	Indicador de productividad no captura el efecto sobre calidad	Beneficio total subestimado si se evalúa solo Bul/HH

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

Factor 1: Nivel elevado de la línea base

La productividad inicial registrada con dispositivos PDT, de 208 Bul/HH, ya superaba la meta operativa interna del área, fijada en 200 Bul/HH. El margen de mejora marginal es, por tanto, menor que en escenarios donde el método PDT opera por debajo de su potencial. Las cifras del 10 % reportadas en la literatura del proveedor corresponden típicamente a contextos donde el punto de partida es un proceso con incumplimientos generalizados y baja productividad inicial, condición distinta a la del CRD de TIA S.A.

Factor 2: Horizonte temporal corto del análisis

El periodo evaluado, agosto a octubre de 2025, representa la fase inicial del régimen estable del proyecto. Las curvas de adopción tecnológica en logística reportan habitualmente que el desempeño se

estabiliza al alza durante un horizonte de seis a doce meses, conforme los operarios optimizan su patrón de habla, internalizan la secuencia de comandos y reducen los tiempos de transición entre tareas. Por consiguiente, el valor reportado representa el desempeño temprano del sistema y se espera que la productividad continúe mejorando en mediciones sucesivas.

Factor 3: Heterogeneidad del personal y corrección de prácticas inadecuadas

Dos operarios (AANELOA y VTUSA) registraron decrementos individuales de -6% y -2% respectivamente. Estos casos no representan un fallo de la herramienta, sino la corrección de prácticas operativas que en el método PDT inflaban artificialmente el indicador. Estas prácticas incluían la digitación anticipada de cantidades, la confirmación a distancia y la memorización de ubicaciones, las cuales constituían precisamente parte de las causas raíz de los errores de despacho identificados en el Capítulo II. Con Voice Picking, estos operarios ejecutan el procedimiento completo con verificación obligatoria en cada paso, lo que ajusta su productividad aparente a su productividad real. Si se descuenta el efecto de estos casos, el incremento promedio de los demás operarios se sitúa en torno al 11.4% , valor consistente con la referencia internacional.

Factor 4: Naturaleza bidimensional del beneficio

El proyecto Voice Picking no se evalúa exclusivamente por el indicador de productividad, sino por el efecto conjunto sobre productividad y precisión. La reducción del 89.7% en la tasa de error residual representa un beneficio económico que el indicador de Bul/HH no captura, dado que opera sobre los costos de no calidad (devoluciones, reprocesos y ajustes de inventario) en lugar de sobre la velocidad nominal. Una evaluación integral del retorno del proyecto debe incluir ambos componentes, configuración bajo la cual la brecha aparente en productividad queda compensada por el desempeño superior en calidad.

Conclusión sobre la brecha

La conjunción de estos cuatro factores explica técnicamente la diferencia entre la meta de referencia y el resultado alcanzado, sin desvirtuar la efectividad de la intervención. La evaluación de mediano plazo, prevista en las recomendaciones del trabajo, permitirá verificar la convergencia progresiva del indicador

hacia los valores reportados en contextos análogos. Asimismo, el efecto del 89.7 % de reducción en la tasa de error residual constituye un componente del beneficio del proyecto que el indicador de productividad por sí solo no refleja.

Es importante destacar que la inversión en servicios profesionales (\$89,000) y una parte significativa de las licencias corresponden a costos no recurrentes de desarrollo, configuración y puesta en marcha. En futuras réplicas del proyecto en otros centros de distribución de TIA S.A., la inversión se reduciría principalmente a hardware y licencias, lo que mejoraría sustancialmente el retorno de inversión.

Análisis de la curva S

La curva S del proyecto, presentada en la Figura No. 44, muestra la evolución acumulada de la inversión a lo largo de los meses de ejecución. El eje izquierdo representa el porcentaje de avance acumulado, mientras que las barras indican el desembolso mensual en miles de dólares.

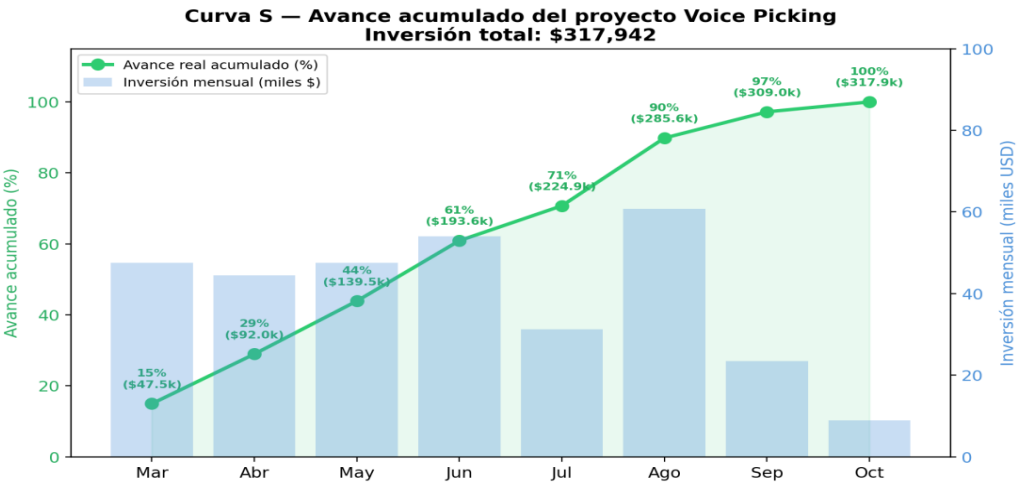


Figura No. 44. Curva S — Avance acumulado del proyecto Voice Picking.

Elaborado por: Aguirre, Diego (2026).

El gráfico evidencia el patrón típico de una curva S con tres fases: una fase de arranque moderado (marzo-abril), una fase de ejecución intensiva (mayo-agosto) donde se concentró el 88% de la inversión, y

una fase de cierre con los pagos finales de soporte (septiembre-octubre). El cronograma de desembolsos se cumplió conforme a lo planificado, sin desviaciones significativas que afectaran la ejecución del proyecto.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El análisis del proceso actual permitió establecer una línea base cuantitativa del área de despacho durante el período enero-junio de 2025. La productividad promedio fue de 208 Bul/HH y la precisión alcanzó el 99,03 % mediante el uso de dispositivos PDT. Aunque este valor superó la meta interna de 200 Bul/HH, el diagnóstico evidenció fallas operativas no reflejadas en el indicador global. El Diagrama de Ishikawa identificó siete tipologías recurrentes de error: multidespacho, picado y no enviado, despacho en otra ubicación, usuario menos, usuario más, error caja/UMD y mal en puerta. Además, el análisis de Pareto mostró que mal en puerta, picado y no enviado, y multidespacho concentraron el 66 % de las incidencias y el 68 % del costo total. Por tanto, se concluye que la principal oportunidad de mejora se ubicó en la dependencia de la digitación manual del PDT, más que en el desempeño aislado del operario.

La aplicación de Voice Picking mediante el aplicativo Lydia Voice se ejecutó conforme al modelo operativo definido en cinco etapas: diagnóstico, diseño del proceso de voz, pruebas y capacitación, Go Live y evaluación. La herramienta se integró con el WMS Oracle mediante API REST en tiempo real y operó con 53 dispositivos Zebra TC52, 136 auriculares HS3100, 16 antenas WiFi en banda de 5 GHz y etiquetas de check digitador por ubicación. La puesta en marcha inició el 15 de julio de 2025 y requirió un período de adaptación de diecisiete días, hasta el 31 de julio. A partir de agosto, el sistema alcanzó estabilidad operativa, con una productividad promedio de 218,88 Bul/HH entre agosto y octubre. Las incidencias técnicas iniciales, como Package Error, bloqueo de pantalla y error Undefined, fueron corregidas sin modificar las reglas de voz, lo que confirmó la funcionalidad del diseño implementado.

La implementación de Voice Picking permitió reducir los errores del proceso y mejorar la precisión en la preparación de pedidos. El indicador pasó de 99,03 % con PDT a 99,90 % con Voice Picking, lo que representa una mejora de 0,87 puntos porcentuales y una reducción relativa del 89,7 % en la tasa de error residual, de 0,97 % a 0,10 %. Esta mejora se explica por los mecanismos de control incorporados en el flujo

operativo, como el check digitador por ubicación, la confirmación secuencial de tareas, el escaneo del caddie en puerta y la validación dígito por dígito de las cantidades. A nivel individual, 18 de los 20 operarios evaluados, equivalentes al 90 %, incrementaron su productividad, con mejoras entre el 3 % y el 53 %. Los dos casos con reducción marginal, AANELOA con -6 % y VTUSA con -2 %, corresponden a usuarios cuya productividad previa estaba influida por digitaciones anticipadas con PDT.

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que la aplicación de Voice Picking optimizó el proceso de despacho del Centro Regional de Distribución de TIA S.A. La intervención respondió directamente a la causa raíz identificada, relacionada con la digitación manual, y generó mejoras medibles en los indicadores estratégicos del área. La productividad aumentó de 208 a 218,88 Bul/HH, equivalente a un incremento del 5,2 %, mientras que la precisión pasó de 99,03 % a 99,90 %. Aunque la mejora productiva fue menor al 10 % planteado como referencia inicial, el resultado es técnicamente favorable porque se obtuvo sobre una línea base ya superior a la meta interna. Además, la herramienta corrigió prácticas que elevaban artificialmente la productividad con PDT, fortaleció la trazabilidad del proceso y consolidó un modelo de despacho más controlado, verificable y confiable.

Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos y el análisis de las conclusiones, se establecen las siguientes recomendaciones orientadas a garantizar la mejora continua del proceso de despacho y a optimizar el aprovechamiento de la herramienta Voice Picking:

- Extender la implementación del Voice Picking a las demás áreas del Centro Regional de Distribución (productos fríos, textiles, productos especiales), realizando previamente un levantamiento de procesos específico para cada sección que permita adaptar los flujos de voz a las particularidades de cada operación.
- Establecer un programa de seguimiento periódico de los indicadores de productividad y precisión, con reportes semanales que permitan identificar tendencias y tomar acciones correctivas de manera oportuna.

- Implementar un sistema de retroalimentación continua mediante la plataforma Copilot, donde los supervisores puedan identificar patrones de error individuales y diseñar capacitaciones focalizadas para los operarios que presenten mayor número de inconsistencias.
- Evaluar la integración de funcionalidades adicionales del aplicativo Lydia Voice, como la incorporación de módulos de inventario cíclico y reabastecimiento por voz, que podrían complementar la operación de picking y generar eficiencias adicionales en la cadena logística.
- Documentar y estandarizar el proceso de implementación de Voice Picking como un modelo replicable para los demás Centros de Distribución de TIA S.A. a nivel nacional, reduciendo los tiempos y costos de futuras implementaciones.
- Mantener actualizado el programa de capacitación para el personal nuevo, incorporando simulaciones prácticas con el sistema de voz antes de su ingreso a la operación en vivo, con el objetivo de reducir el período de adaptación identificado en esta implementación.

Bibliografía

- Akula, S. K., & Salehfar, H. (2021). Risk-based Classical Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) of Microgrid Cyber-physical Energy Systems. *2021 North American Power Symposium, NAPS 2021*. <https://doi.org/10.1109/NAPS52732.2021.9654717>
- BlueFletch. (2024). *Zebra TC52 and TC57: A Comparison of Powerful Mobile Devices*. <https://bluefletch.com/device-review-zebra-tc52-tc57/>
- Dujmešić, N., Bajor, I., & Rožić, T. (2018). Warehouse processes improvement by pick by voice technology. *Tehnicki Vjesnik*, 25(4), 1227–1233. <https://doi.org/10.17559/TV-20160829152732>
- EPG. (2022). *Dare to Compare: Lydia Voice vs. Vocollect Voice*. <https://us.epg.com/lydia-voice-solutions/compare-to-vocollect-voice/>
- Ferrer-Blas, R. I., Galarcep-Barba, I., & Solano-Gaviño, J. C. (2024). Lean Manufacturing in food production: Systematic review, bibliometric analysis and proposed application. *Scientia Agropecuaria*, 15(4), 569–579. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.042>
- Goomas, D. T., & Ludwig, T. D. (2023). Ergonomic improvement using natural language processing for voice-directed order selection in large industrial settings. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 33(6), 537–544. <https://doi.org/10.1002/hfm.21009>
- Grand View Research. (2024). *Voice Picking Solution Market Size, Share and Trends Analysis Report, 2024-2030*.
- Honeywell. (2022). *Vocollect Voice solutions for warehouse and distribution. Honeywell Productivity Solutions*. <https://sps.honeywell.com/us/en/products/productivity/voice-solutions>
- IEC. (2018). *IEC 60812:2018 Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)*. <https://webstore.iec.ch/publication/26359>
- Inveligent. (2023). *La implementación del WMS Voice Picking, Farmaenlace*.

<https://www.inveligent.com/en/noticias/automatizacion-wms-voice-picking-farmaenlace>

Klumpp, M., & Loske, D. (2021a). Order picking and e-commerce: introducing non-parametric efficiency measurement for sustainable retail logistics. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 16(4), 846–858. <https://doi.org/10.3390/jtaer16040048>

Klumpp, M., & Loske, D. (2021b). Order Picking and E-Commerce: Introducing Non-Parametric Efficiency Measurement for Sustainable Retail Logistics. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 16(4), 846–858. <https://doi.org/10.3390/jtaer16040048>

Lucas Systems. (2023). *Voice Picking Software Selection Guide*. <https://www.lucasware.com/voice-picking-introduction/>

Mecalux. (2022). *Pick by voice: back in the warehouse again*. <https://www.mecalux.com/blog/pick-by-voice>

Perotti, S., Cannava, L., Ries, J. M., & Grosse, E. H. (2025). Reviewing and conceptualising the role of 4.0 technologies for sustainable warehousing. *International Journal of Production Research*, 63(6), 2305–2337. <https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2396015>

STG Latam. (2024). *Cada voz cuenta: Picking por voz para una logística más eficiente*. <https://www.stglatam.com/blog/cada-voz-cuenta-picking-por-voz-para-una-logistica-mas-eficiente/%0A>

Tubis, A. A., & Rohman, J. (2023). Intelligent Warehouse in Industry 4.0—Systematic Literature Review. *Sensors*, 23(8). <https://doi.org/10.3390/s23084105>

VDC Research. (2021). *Meeting the demand: WMS and Voice-directed Picking Technology Report*. <https://www.logisticsit.com/articles/2021/12/21/meeting-the-demand-wms/voice-directed-picking-technology-report>

Zetes. (2022). *Productividad +20%, costes de picking -17% en el Gruppo DAO*.

<https://www.zetes.com/es/logistica-de-almacenamiento/voice-picking/productivity-20-picking-costs-17-at-the-dao-group>