



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UN SISTEMA INTELIGENTE PARA EL MANEJO DE BODEGAS
EN DOBLADORAS COTOPAXI

PROPUESTA DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR(ES):

Angelin Yomara Alarcón Curay

Eduardo Javier López Ortiz

TUTOR:

Ing. José Ezequiel Naranjo Robalino MsC.

LATACUNGA, MARZO, 2026

Latacunga, 09 de marzo del 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Alarcón Curay Angelin Yomara, López Ortiz Eduardo Javier declaro ser autor (a) del proyecto de titulación "Diseño de un sistema inteligente para el manejo de bodegas en Dobladoras Cotopaxi", siendo el Ing. José Ezequiel Naranjo Robalino tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.



Angelin Yomara Alarcón Curay
CC.0550651384



Eduardo Javier López Ortiz
CC.0550651384

Latacunga, 9 de marzo del 2026

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: “Diseño de un sistema inteligente para el manejo de bodegas en Dobladoras Cotopaxi”, propuesto por los estudiantes Alarcón Curay Angelin Yomara, López Ortiz Eduardo Javier de la Carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



Ing. José Ezequiel Naranjo Robalino, MsC.
C.C. 1804710463
TUTOR

Latacunga, 09 de marzo del 2026

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES


Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título “**Diseño de un sistema inteligente para el manejo de bodegas en Dobladoras Cotopaxi**”, propuesto por los estudiantes Alarcón Curay Angelin Yomara y López Ortiz Eduardo Javier de la Carrera de Ingeniería Industrial, nos permitimos indicar que los estudiantes han concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad de **Proyecto de Investigación** en virtud de lo cual los postulantes pueden presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que ponemos en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

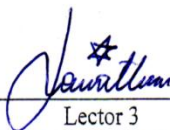
Atentamente,



Lector 1 (Presidente)
Ing. Wilson Santiago Olovacha Toapanta
CC: 1804302238



Lector 2
Dr. Medardo Ángel Ulloa Enríquez
CC: 1000970325



Lector 3
Dr. Jonathan Alexander Ruiz Carrillo
CC: 0703323824

AGRADECIMIENTO

A Dios y a San Martín, por acompañarme en cada paso de este camino, por darme fuerza en los momentos de cansancio, esperanza en los días difíciles y la oportunidad de culminar una etapa tan importante de mi vida

A mi mamá, por su amor, su esfuerzo y apoyo incondicional. Gracias por enseñarme que rendirse no es una opción y por creer en mi incluso cuando yo dudaba.

A mi familia, por su cariño, su paciencia y sus palabras de aliento que me ayudaron a seguir adelante en los momentos más difíciles.

A mi primo, que hoy está en el cielo, por ser un ejemplo de lucha y fortaleza que siempre vive en mi corazón.

A mis gatitas, por las que están y las que no. De manera muy especial a mi pequeña Azul, por acompañarme en esos días difíciles y por haber sido una compañía llena de amor y ternura.

A mi tutor de tesis Ing. José Naranjo por los conocimientos y la formación brindada durante este proceso académico.

Y de manera muy especial a mi compañero de aventuras Eduardo, gracias por tu amor, paciencia y apoyo constante durante este camino. Gracias por caminar a mi lado, por motivarme en los momentos más difíciles y por compartir conmigo el esfuerzo y la ilusión de alcanzar juntos esta meta.

Angelin Alarcón

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a mis padres, Pedro y Silvia, por su amor, apoyo incondicional y por acompañarme en cada decisión y etapa de mi vida, brindándome siempre la motivación necesaria para seguir adelante y alcanzar mis metas.

A mis hermanos, Santiago y Génesis, por su compañía y por formar parte fundamental de este camino.

De manera especial, agradezco a mi tío Víctor, quien desde siempre ha estado pendiente de nosotros y ha sido un gran apoyo para nuestra formación, impulsándonos constantemente a superarnos y brindándonos su ayuda cuando más lo hemos necesitado.

Asimismo, agradezco a mi amor Angi, por su compañía, apoyo y por compartir conmigo muchas noches de estudio y esfuerzo durante este proceso académico.

Expreso también mi agradecimiento al Ing. José Naranjo, por su guía y por motivarme a investigar, aprender y desafiar mis propios límites, despertando en mí un mayor interés por el conocimiento, la innovación y el desarrollo de nuevas ideas.

A todos ustedes, gracias por ser parte fundamental de este logro y por acompañarme en la culminación de esta importante etapa de mi vida.

Eduardo López

DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios, por iluminar mi camino y darme la oportunidad de alcanzar una meta tan importante en mi vida.

A mi mamá, Paulina Alarcón por ser mi mayor inspiración, por su amor infinito su esfuerzo y cada sacrificio que ha hecho por mí. Gracias por enseñarme con tu ejemplo a ser fuerte, a seguir adelante y a recordar siempre que no hay que rendirse. Este logro también es tuyo.

A mi abuelita, Enriqueta Curay, quien ha sido una parte importante de mi vida, ya que siempre estuvo presente en esta etapa universitaria, brindándome su apoyo, su cuidado y cariño incondicional.

A mi abuelito, Segundo Alarcón, por acompañarme y cuidarme siempre, por estar presente en cada etapa de mi vida y también durante este proceso tan importante. Gracias por su cariño, su apoyo y por todo lo que ha hecho por mí.

A mis gatitas, por su compañía, su ternura y por los momentos de calma que me regalaron en medio del cansancio y las dificultades. En especial a mi pequeña Azul, que me acompañó en todos mis desvelos.

Y a Eduardo, por compartir conmigo este proceso, por su apoyo, su paciencia y por cada momento que hizo este camino más llevadero.

Este logro no es solo mío, sino también de todas las personas que estuvieron a mi lado, brindándome su apoyo, su cariño y su motivación para seguir adelante.

Angelín Alarcón

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a mis padres, Pedro y Silvia, por su amor, esfuerzo y apoyo incondicional a lo largo de mi vida y en cada paso de mi formación.

De igual manera, lo dedico a Angi, por su compañía, apoyo y motivación durante este proceso académico, y a Bongo, mi fiel compañero, quien me acompañó en muchas de las largas noches de estudio.

A ustedes, que han sido parte importante de este camino, les dedico con mucho cariño este logro.

Eduardo López

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “DISEÑO DE UN SISTEMA INTELIGENTE PARA EL MANEJO DE BODEGAS EN DOBLADORAS COTOPAXI”

Autores:

Alarcón Curay Angelin Yomara

López Ortiz Eduardo Javier

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo diseñar un sistema inteligente para el manejo de bodegas en la empresa Dobladoras Cotopaxi, con el propósito de mejorar el control y la localización de insumos dentro del área de almacenamiento. El problema identificado estuvo relacionado con la búsqueda manual de consumibles, especialmente discos de amoladora, lo cual generaba demoras en la consulta de existencias, tiempos improductivos y limitaciones en la gestión eficiente de inventario. El estudio se desarrolló mediante un enfoque aplicado de tipo tecnológico, con alcance descriptivo y propositivo. Para el diagnóstico de la situación actual se empleó la observación directa del proceso de bodega, el análisis de las actividades base en la información levantada, se diseñó e implemento un prototipo funcional conformado por sensores de peso, un microcontrolador ESP32, comunicación de datos mediante el protocolo MQTT y una aplicación desarrollada en Unity para la visualización en tiempo real. Los resultados obtenidos permitieron evidenciar la viabilidad del sistema propuesto para registrar el peso de los insumos almacenados, procesar los datos y transformarlos en información útil para el control de inventario. Asimismo, el prototipo facilitó la consulta rápida de existencias y la visualización digital de la disponibilidad de unidades, constituyéndose en una alternativa de apoyo para la gestión de bodega. Entre los principales aportes del trabajo se destacó la integración de tecnologías de internet de las cosas y realidad aumentada en un entorno industrial, orientada a fortalecer la trazabilidad de materiales y optimizar las actividades relacionadas con el almacenamiento. Se concluyo que el sistema inteligente diseñado representó una solución tecnológica viable para el manejo de bodegas en Dobladoras Cotopaxi, al contribuir a la mejoro del control de inventarios, la reducción de tiempos de consulta y la modernización de los procesos de almacenamiento.

Palabras clave: gestión de bodegas, inventario inteligente, internet de las cosas, realidad aumentada, ESP32, MQTT, Unity, sensores de peso.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

**TITLE: “DESIGN OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR WAREHOUSE
MANAGEMENT AT DOBLADORAS COTOPAXI”**

Authors:

Alarcón Curay Angelin Yomara

López Ortiz Eduardo Javier

ABSTRACT

This research aimed work to design an intelligent system for warehouse management at Dobladoras Cotopaxi, with the purpose of improving the control and location of supplies within the storage area. The identified problem was related to the manual search for consumables, especially grinder discs, which generated delays in checking stock availability, unproductive time, and limitations in efficient inventory management. The study was developed through an applied technological approach with a descriptive and propositional scope. To diagnose the current situation, direct observation of the warehouse process was carried out, together with the analysis of the activities based on the collected information. Based on this information, a functional prototype was designed and implemented, composed of weight sensors, an ESP32 microcontroller, data communication through the MQTT protocol, and an application developed in Unity for real time visualization. The results obtained showed the feasibility of the proposed system to record the weight of the stored supplies, process the data, and transform them into useful information for inventory control. Likewise, the prototype facilitated the rapid consultation of stock availability and the digital visualization of unit availability, becoming a support alternative for warehouse management. Among the main contributions of the study, the integration of Internet of Things and augmented reality technologies in an industrial environment stands out, aimed at strengthening the traceability of materials and optimizing activities related to storage. It was concluded that the intelligent system designed represents a viable technological solution for warehouse management at Dobladoras Cotopaxi, contributing to the improvement of inventory control, the reduction of consultation times, and the modernization of storage processes.

Keywords: warehouse management, intelligent inventory, Internet of Things, augmented reality, ESP32, MQTT, Unity, weight sensors.

AVAL DE TRADUCCIÓN

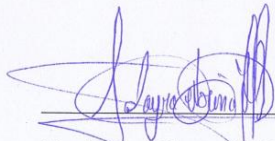
En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“DISEÑO DE UN SISTEMA INTELIGENTE PARA EL MANEJO DE BODEGAS EN DOBLADORAS COTOPAXI”** presentado por **Alarcón Curay Angelin Yomara y López Ortiz Eduardo Javier**, egresados de la Carrera de: **Ingeniería Industrial**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumplen con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Marzo del 2026

Atentamente,



Mg. Mayra Clemencia Noroña Heredia
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI:0501955470



INDICE GENERAL

1.	INFORMACIÓN GENERAL	1
2.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.1.	SITUACIÓN PROBLÉMICA	4
2.2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
2.3.	OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	5
2.3.1.	Objeto de investigación	5
2.3.2.	Campo de acción	6
2.4.	BENEFICIARIOS	6
2.4.1.	Beneficiarios directos	6
2.4.2.	Beneficiarios indirectos	6
2.5.	JUSTIFICACIÓN	7
2.6.	OBJETIVOS	8
2.6.1.	Objetivo general	8
2.6.2.	Objetivos específicos.....	8
2.7.	SISTEMA DE TAREAS	8
3.	FUNDAMENTACION TEÓRICA	10
3.1.	ANTECEDENTES	10
3.1.1.	Sistemas de gestión de inventarios en entornos industriales	11
3.1.2.	Aplicación del internet de las cosas en control de inventarios	11
3.1.3.	Uso de sensores de peso para monitoreo de stock.....	12
3.1.4.	Aplicaciones de realidad aumentada en logística y bodegas	12
3.1.5.	Integración IoT y RA en sistemas industriales	13
3.2.	INTERNET DE LAS COSAS (IoT).....	13
3.2.1.	Definición y evolución del IoT.....	13
3.2.2.	Arquitectura general de sistemas IoT	14
3.2.3.	IoT aplicado a la industria 4.0	14

3.2.4.	Comunicación en sistemas IoT industriales	14
3.3.	SENSORES DE PESO Y SISTEMAS DE MEDICIÓN	15
3.3.1.	Celdas de carga: principio de funcionamiento	15
3.3.2.	Módulos de amplificación HX711	15
3.3.3.	Precisión, calibración y errores de medición	16
3.3.4.	Aplicaciones industriales de sensores de peso	16
3.4.	MICROCONTROLADORES EN SISTEMAS IoT	17
3.4.1.	Microcontroladores para aplicaciones IoT	17
3.4.2.	Características técnicas del esp32	17
3.4.3.	Ventajas del esp32 en sistemas industriales	18
3.4.4.	Integración de sensores y conectividad Wi-Fi	18
3.5.	PROTOCOLO MQTT	19
3.5.1.	Definición y fundamentos del protocolo mqtt	19
3.5.2.	Arquitectura publicador-suscriptor	19
3.5.3.	Ventajas de MQTT en entornos industriales	20
3.5.4.	Seguridad y eficiencia en comunicaciones MQTT	20
3.6.	SISTEMAS DE VISUALIZACIÓN Y DASHBOARDS DE INVENTARIO ...	20
3.6.1.	Visualización de datos en tiempo real	20
3.6.2.	Dashboards como herramienta de apoyo a la toma de decisiones	21
3.6.3.	Representación gráfica de inventarios mediante indicadores visuales ...	21
3.7.	REALIDAD AUMENTADA	22
3.8.	MOTORES DE DESARROLLO PARA APLICACIONES CON REALIDAD AUMENTADA	22
4.	MARCO METODOLÓGICO	23
4.1.	ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	23
4.2.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	23
4.3.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	24

4.4. INVESTIGACIÓN APLICADA	24
4.4.1. Investigación descriptiva	24
4.4.2. Investigación comparativa	24
4.5. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	25
4.5.1. Investigación documental	25
4.5.2. Investigación de campo	25
4.6. POBLACION Y MUESTRA	26
4.6.1. Población	26
4.6.2. Muestra	26
4.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	26
4.7.1. Levantamiento de procesos	26
4.7.2. Observación directa	27
4.7.3. Registro comparativo de tiempos	27
4.7.4. Clasificación ABC	27
4.7.5. Encuesta de usabilidad.....	27
4.8. DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROTOTIPO FUNCIONAL	27
4.9. PUESTA EN MARCHA Y VERIFICACIÓN FUNCIONAL DEL PROTOTIPO	28
5. ANALISIS DE RESULTADOS	29
5.1. OBJETIVO 1	29
5.1.1. Recolección de la información mediante observación	29
5.1.2. Análisis de tiempos de búsqueda en el inventario actual	32
5.1.3. Mapa de procesos	32
5.1.4. Levantamiento de procesos	34
5.1.5. Identificación de ineficiencias en el proceso	71
5.1.6. Análisis ABC	77
5.2. OBJETIVO 2	80

5.2.1.	Selección de sensores de peso y componentes IoT adecuados.....	80
5.2.2.	Arquitectura del sistema	85
5.2.3.	Esquema funcional del sistema de inventario inteligente.....	89
5.3.	OBJETIVO 3	90
5.3.1.	Desarrollo de un prototipo funcional de una aplicación móvil en RA ...	90
5.3.2.	Programación del microcontrolador ESP32 y calibración de sensores de peso.	91
5.3.3.	Integración de realidad aumentada con Unity y Vuforia	97
5.3.4.	Pruebas de conectividad entre el sistema físico y la app móvil.....	105
5.4.	OBJETIVO 4	109
5.4.1.	Toma de tiempos actuales con el sistema propuesto.	109
5.4.2.	Comparación de tiempos antes y después de la implementación.	111
5.4.3.	Registro antes y después de la implementación	113
5.4.4.	Aplicación de System Usability Scale (SUS).....	113
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	117
6.1.	CONCLUSIONES	117
6.2.	RECOMENDACIONES.....	118
7.	REFERENCIAS	119

-

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modalidad de titulación	1
Tabla 2. Áreas de conocimiento de la UNESCO	1
Tabla 3. Beneficiarios Directos de la empresa Dobladoras Cotopaxi.	6
Tabla 4. Beneficiarios indirectos de la empresa Dobladoras Cotopaxi	7
Tabla 5. Sistema de tareas.....	9
Tabla 6. Registro de observación y tiempo de búsqueda de consumibles.	29
Tabla 7. Resumen por operario.....	31
Tabla 8. Procesos estratégicos de Dobladoras Cotopaxi	35
Tabla 9. Procesos Operativos en la empresa Dobladoras Cotopaxi.....	36
Tabla 10. Procesos de apoyo de la empresa Dobladoras Cotopaxi.....	38
Tabla 11. Levantamiento de procesos: Recepción de materia prima.....	40
Tabla 12. Levantamiento de procesos: Torno	42
Tabla 13. Levantamiento de procesos: Corte.....	45
Tabla 14. Levantamiento de procesos: Esmeril	48
Tabla 15. Levantamiento de procesos: Ensamble.....	50
Tabla 16. Levantamiento de procesos: Taladro	53
Tabla 17. Levantamiento de procesos: Cepillado	55
Tabla 18. Levantamiento de procesos: Soldadura	58
Tabla 19. Levantamiento de procesos: Moladora	60
Tabla 20. Levantamiento de procesos: Pintura	63
Tabla 21. Levantamiento de procesos: Entrega de producto terminado	66
Tabla 22. Levantamiento de proceso de apoyo: Gestión de materiales y consumibles..	68
Tabla 23. Hallazgos	72
Tabla 24. Criterios de clasificación del nivel de afectación	73
Tabla 25. Clasificación cualitativa de las principales ineficiencias según su nivel de afectación operativa.....	75
Tabla 26. Análisis ABC de consumibles en Dobladoras Cotopaxi.....	78
Tabla 27. Tabla comparativa de sensores de peso	82
Tabla 28. Comparación de protocolos de comunicación para sistemas IoT.....	83
Tabla 29. Comparación de motores de desarrollo para aplicaciones de visualización y realidad aumentada.....	84
Tabla 30. Tabla de asignación de pines HX711 por piso	92

Tabla 31. Tiempos actuales de búsqueda por cada operario.....	109
Tabla 32. Comparación de tiempos de búsqueda antes y después de la implementación.	111
Tabla 33. Resumen comparativo de tiempos por operario antes y después de la implementación.	112
Tabla 34. Resultados de la evaluación mediante SUS.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Almacenamiento de materia prima en la bodega de Dobladoras Cotopaxi. ...	39
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso: recepción de materia prima.....	41
Figura 3. Proceso de torneado de piezas metálicas.	42
Figura 4. Diagrama de flujo de los procesos de torneado	44
Figura 5. Proceso de corte de la materia prima	45
Figura 6. Diagrama de flujo de los procesos de corte.	47
Figura 7. Esmeril para acabados de piezas metálicas.....	48
Figura 8. Diagrama de flujo de los procesos de esmeril.....	49
Figura 9. Zona de ensamble.....	50
Figura 10. Diagrama de flujo de los procesos de la zona de ensamblaje	51
Figura 11. Taladro industrial de Dobladoras Cotopaxi.....	52
Figura 12. Diagrama de flujo de los procesos del taladro	54
Figura 13. Reparación de piezas metálicas en la cepilladora	55
Figura 14. Diagrama de flujo de los procesos en la cepilladora.....	56
Figura 15. Unión de piezas metálicas por suelda	57
Figura 16. Diagrama de flujo de los procesos de soldadura	59
Figura 17. Desbaste de imperfecciones a las piezas metálicas con moladora.....	60
Figura 18. Diagrama de flujo de los procesos de la moladora	62
Figura 19. Compresor de aire para el proceso de pintura.....	63
Figura 20. Diagrama de flujo de los procesos de pintura	64
Figura 21. Producto final para entrega al cliente.....	65
Figura 22. Diagrama de flujo de procesos de la entrega final del producto	67
Figura 23. Diagrama de flujo de proceso de gestión de materiales y consumibles.	70
Figura 24. Arquitectura del sistema.....	85
Figura 25. Esquemático de conexión del sistema de pesaje con tres celdas de carga	89
Figura 26. Esquemático de conexión del sistema de pesaje con dos celdas de carga	90
Figura 27. Captura de Arduino IDE.....	91
Figura 28. Monitor Serial del Arduino IDE.....	93
Figura 29. Conectividad Wi-Fi/MQTT.....	94
Figura 30. Ejecución del procedimiento de tara y calibración para el sensor 5	95
Figura 31. Código de conversión a gramos	96
Figura 32. Monitor Serial	97

Figura 33. Jerarquía (Hierarchy) de Unity.....	98
Figura 34. Diagrama de actividades	99
Figura 35. Inicio de la aplicación móvil ARventory	100
Figura 36. Panel principal de navegación del sistema.....	101
Figura 37. Módulo de escaneo en Realidad Aumentada	103
Figura 38. ImageTarget y objetos hijos asociados.....	104
Figura 39. Unity (Inspector): Configuración MQTT.....	105
Figura 40. Cliente MQTT: recepción de datos publicados por el ESP32.....	106
Figura 41. Panel de visualización del inventario desarrollado en Unity	107
Figura 42. Evidencia final	108
Figura 43. Interpretación del puntaje promedio en la escala SUS.....	116

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: Diseño de un sistema inteligente para el manejo de bodegas en Dobladoras Cotopaxi

Modalidad de titulación:

Tabla 1. Modalidad de titulación

Modalidad de titulación	Homologaciones para informe final de titulación	Selección
Proyecto de investigación	Informe de proyecto de investigación.	X
	Patente, modelo de utilidad, certificado de propiedad intelectual.	
	Artículo científico	

Trabajo de titulación Vinculado al Proyecto: Transformación de la Capacitación en Seguridad y Producción Industrial con Realidad Mixta e Inteligencia Artificial en el Marco de la Industria 4.0 y los ODS

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Tutor: MSc. Ing. José Ezequiel Naranjo Robalino

Autores:

- Alarcón Curay Angelin Yomara
- López Ortiz Eduardo Javier

Área de conocimiento:

Tabla 2. Áreas de conocimiento de la UNESCO

Área de conocimiento	Subárea de conocimiento	Subárea específica de conocimiento
07 ingeniería, Industria y Construcción	071 ingeniería y Profesiones Afines	0714 electrónica y automatización

Línea de investigación: Tecnología industrial, gestión de la producción, riesgos y seguridad laboral.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Control de la calidad y gestión de la cadena de suministro.

2. INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente de inventarios, se ha convertido en un elemento clave para el funcionamiento de las empresas industriales, sobre todo en entornos en los que la agilidad de la demanda, exactitud y control logístico va en aumento. En este contexto, la administración de bodegas es relevante dentro de la cadena de suministro ya que asegura que los materiales estén disponibles a tiempo y evita interrupciones en los procesos productivos. No obstante, pese a su importancia, numerosas bodegas todavía operan con métodos tradicionales que dependen de registros manuales y de actividades que se ejecutan de manera empírica. La ineficiencia general de la empresa se ve afectada negativamente por estas prácticas, que a menudo llevan a cometer fallos en el control de existencias, desorden en la ubicación de materiales y al uso excesivo del tiempo durante su búsqueda. La irrupción de tecnologías emergentes asociadas a la industria 4.0, como realidad aumentada (RA) Y EL Internet de las cosas (IoT), ha creado oportunidades para actualizar esos procedimientos utilizando sistemas inteligentes que posibilitan el monitoreo en tiempo real de variables y la entrega de datos visuales inmediatos a los operarios[1], [2].

Para la empresa Dobladoras Cotopaxi, la bodega es un lugar esencial para proveer los insumos que se emplean en la producción de maquinaria y estructuras metálicas. Sin embargo, el procedimiento actual de administración de inventarios presenta dificultades que impactan directamente la productividad. Los tiempos prolongados para encontrar materiales, la falta de un sistema centralizado para registrar información actualizada de forma inmediata y la dependencia de la experiencia del personal para determinar las ubicaciones dentro de la bodega son algunos de los problemas más importantes. Estas limitaciones no solo provocan que las actividades operativas se realicen con retraso, sino que además aumentan el riesgo de duplicar el inventario, tener que reprocesos, interrumpir la línea de trabajo y asumir costos extras por materiales mal contabilizados o perdidos. La literatura señala que en situaciones parecidas se producen efectos análogos y destaca la importancia de soluciones que incorporen herramientas de visualización,

conectividad y sensores con el fin de disminuir la incertidumbre y mejorar la trazabilidad[2], [3].

La necesidad de dar solución a estas dificultades se vuelve evidente al considerar el impacto directo que tiene el inventario en la continuidad de la producción, implementar instrumentos tecnológicos que faciliten la visualización de información de forma automatizada e inmediata representa una oportunidad para aumentar la eficacia empresarial, disminuir los tiempos improductivos y mejorar el uso de recursos. Tecnologías emergentes, como la realidad aumentada, tiene el potencial de mejorar la interacción entre los operadores y la información existente, esto se puede lograr a través del uso de marcadores visuales digitales o interfaces, que orientan al trabajador en tiempo real y facilitando la localización de los materiales[4], [5]. Por otro lado, el uso de sensores conectados a través de arquitectura IoT y protocolos de mensajería livianos permite generar datos confiables sobre el peso y disponibilidad de materias primas almacenadas, reduciendo la dependencia de procesos manuales y permitiendo alertas y acciones automáticas en caso de desviaciones[6], [7]. De esta manera, el uso de todas estas herramientas puede transformar la gestión de bodegas, asegurando exactitud en el inventario, trazabilidad y la mejora en la toma de decisiones operativas.

El uso conjunto de IoT y RA en una perspectiva integrada que une la capacidad analítica con la monitorización en tiempo real y las interfaces visuales, ha evidenciado avances cuantificables en términos de precisión del inventario, disminución de los tiempos de búsqueda y reducción de errores al elegir productos en diferentes investigaciones y pruebas prácticas. Asimismo, estas tecnologías tienen la posibilidad de unirse con métodos de reconocimiento de objetos y modelos de gemelo digital para proporcionar una visualización detallada y contextualizada del almacén, lo que permite tomar decisiones estratégicas y ejercer control[8], [9]. Pues lo mencionado no solo es una ventaja en términos de operaciones, sino que además favorece la ergonomía y el bienestar del personal cuando las soluciones se diseñan considerando principios de usabilidad y adecuándose al perfil de los operarios[5], [8].

La implementación de un sistema inteligente en la empresa conlleva beneficios operativos, técnicos y económicos, que contribuyen la razón por la cual se realiza esta investigación. Desde el punto de vista técnico, la incorporación de sensores de peso, la conectividad a través de protocolos IoT (como MQTT) y una aplicación en realidad aumentada representan una solución novedosa que emplea tecnologías previamente

validadas por la literatura para automatizar el control del inventario y mejorar la visibilidad en tiempo real[3]. En el ámbito económico, la reducción de reprocesos, la disminución de errores en los registros y la reducción del tiempo dedicado a las búsquedas se traducen en una mejora más alta de espacio y recursos humanos, así como el ahorro importante de capital[1], [7]. La disponibilidad de información en tiempo real a nivel operativo posibilita que los empleados encuentren materiales con mayor rapidez, reduzcan los tiempos muertos y mejoren el orden del almacén; además, la evidencia indica que las soluciones de RA bien implementadas aumentan la eficacia de la preparación de pedidos y la satisfacción del personal[4], [5].

En este contexto, el estudio se enfoca en crear un sistema inteligente para el manejo de bodegas que incluya tecnologías de monitoreo en tiempo real y RA. Para lograrlo, primero se evaluará el estado actual del proceso de inventarios de la empresa con el fin de identificar las ineficiencias más significativas. Seguidamente se planteará una arquitectura tecnológica que incluya RA para visualización y comunicación IoT para conectar sensores de peso y así facilitar la ubicación espacial de los consumibles. Posteriormente se creará un prototipo funcional basado en dicha arquitectura, que incluirá una aplicación móvil capaz de presentar la información del inventario en tiempo real y de sincronizar los datos adquiridos por los sensores mediante el protocolo MQTT. Por último, se comprobará el impacto del sistema comparando la exactitud del inventario y los tiempos de búsqueda antes y después de la implementación del prototipo con el fin de verificar su efectividad en el contexto operativos de la empresa.

2.1. SITUACIÓN PROBLÉMICA

La empresa Dobladoras Cotopaxi, ubicada en el cantón Latacunga, es una organización industrial dedicada a la fabricación y mantenimiento de estructuras metálicas con más de una década de experiencia en el sector. Su crecimiento ha sido progresivo, evolucionando desde la elaboración de soluciones simples hasta la ejecución de proyectos de alta complejidad técnica, como cocinas industriales, hornos de gran capacidad y mantenimiento de maquinaria pesada, este desarrollo ha conllevado a un aumento sustancial en el volumen, diversidad y especificidad de los materiales e insumos gestionados dentro de sus bodegas.

Sin embargo, este crecimiento ha generado una problemática evidente: el incremento en los tiempos de búsqueda de materiales dentro del sistema de almacenamiento, debido a la

falta de una solución tecnológica que permita localizar, cuantificar y gestionar con precisión el inventario. Esta situación ha sido reportada por el personal técnico, especialmente durante la ejecución de proyectos prioritarios, generando interrupciones en los procesos de producción y mantenimiento y afectando directamente a la eficiencia operativa de la empresa.

Actualmente, el proceso de localización de insumos como discos abrasivos, tubos de acero, válvulas industriales y otros materiales críticos se realiza de forma manual o semiautomatizada, sin apoyo visual o digital en tiempo real. Esta deficiencia conlleva consecuencias como duplicidad de compras por desconocimiento del stock, subutilización de materiales ya existentes, pérdida de tiempo productivo de operarios especializados, retrasos en las entregas a clientes y una percepción negativa en cuanto a la organización interna.

En este contexto, se hace evidente la necesidad de desarrollar un sistema tecnológico que permita integrar sensores de peso, conectividad inalámbrica mediante protocolo MQTT y una interfaz visual basada en realidad aumentada, que proporcione una representación digital e interactiva de los materiales existentes en bodega, así como su cantidad y ubicación exacta. Esta innovación permitirá mejorar la eficiencia interna, reducir tiempos muertos, disminuir errores humanos y fortalecer el control de la cadena de suministro.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La empresa presenta tiempos inadecuados de búsqueda y errores en la localización de consumibles debido a la ausencia de un sistema digital adecuado, lo que afecta la confiabilidad del inventario y desempeño operativo. Se requiere analizar como un sistema inteligente puede mejorar los tiempos de búsqueda y control de inventarios.

2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1. Objeto de investigación

El objeto de investigación del presente proyecto es el diseño de un sistema de gestión inteligente de inventarios que utilice sensores de peso y realidad aumentada, con el fin de mejorar el control, la localización y la disponibilidad de insumos industriales en tiempo real dentro de las bodegas de la empresa Dobladoras Cotopaxi. Este sistema busca minimizar los tiempos de búsqueda, reducir errores en el inventario y mejorar la eficiencia en la toma de decisiones operativas y logísticas.

2.3.2. Campo de acción

De acuerdo con el código de la UNESCO para la ciencia, este estudio se ubica dentro del campo detallado:

Código UNESCO: 3310.03 Procesos Industriales

2.4. BENEFICIARIOS

2.4.1. Beneficiarios directos

A continuación, en la Tabla 3. se muestra los beneficiarios directos que conforman la empresa Dobladoras Cotopaxi.

Tabla 3. Beneficiarios Directos de la empresa Dobladoras Cotopaxi.

Departamento	Beneficiario Directo	Cantidad	Beneficio directo del sistema de inventario	Impacto operativo esperado
Operación/Producción	Personal técnico y operarios del taller	2	Localización más rápida de consumibles requeridos para ejecutar su trabajo.	Reducción de tiempos muertos y mejora de continuidad del proceso
Logística y Almacenamiento	Operario responsable de bodega	1	Acceso en tiempo real al estado del inventario, mejor control de existencias y soporte para abastecimiento	Menos quiebres de stock, menores errores de entrega y mayor trazabilidad interna
Gerencia	Gerente	1	Información precisa del flujo de materiales para control de costos operativos.	Mejor toma de decisiones.

2.4.2. Beneficiarios indirectos

En la Tabla 4, se presentan los beneficiarios indirectos vinculados a la empresa Dobladoras Cotopaxi.

Tabla 4. Beneficiarios indirectos de la empresa Dobladoras Cotopaxi

Beneficiario indirecto	Nº estimado (mensual)	Descripción del beneficiario indirecto
Clientes industriales de Dobladoras Cotopaxi	6	Mayor puntualidad en la entrega de pedidos y menor probabilidad de retrasos asociados a disponibilidad de materiales y continuidad operativa.
Clientes particulares y comercios locales	20	Mejora en tiempos de atención y entrega de trabajos puntuales.
Proveedores de materiales	3	Mejor coordinación de pedidos y entregas por un control más ordenado del stock, reduciendo compras urgentes y ajustes a última hora.

2.5. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se justifica desde varias dimensiones: técnica, académica, practica y estratégica. En primer lugar, desde el punto de vista técnico responde a la necesidad concreta de mejorar el control y eficiencia de los inventarios en Dobladoras Cotopaxi, empresa industrial que ha experimentado un crecimiento significativo en la complejidad de sus procesos productivos. La falta de un sistema tecnológico que permita gestionar el inventario de forma automatizada ha generado pérdidas de tiempo, errores de localización de insumos lo cual afecta directamente a la eficiencia operativa.

Desde el enfoque académico, este proyecto representa una oportunidad para aplicar conocimientos integrados de la ingeniería Industrial como el análisis de procesos, la automatización, el control de calidad, la logística interna y la transformación digital en la gestión de bodegas. Además, incorpora nuevas tecnologías como el monitoreo en tiempo real mediante sensores de peso y la visualización de datos mediante realidad aumentada, lo cual aporta al campo investigativo de los sistemas inteligentes aplicados a la industria 4.0

En el ámbito práctico, se busca desarrollar un prototipo funcional de una aplicación móvil (APK) construida en Unity que se comunique con sensores instalados en la bodega y permita visualizar en tiempo real mediante realidad aumentada la cantidad y ubicación de los insumos. Este sistema facilitará la toma de decisiones, mejorará el espacio de almacenamiento y reducirá los tiempos muertos asociados a la búsqueda de materiales.

Su implementación piloto servirá como modelo replicable para otras empresas del sector manufacturero con similares necesidades.

De este modo, desde una perspectiva estratégica y organizacional, este proyecto se alinea con la misión y visión de Dobladoras Cotopaxi que prioriza la innovación tecnológica, el cumplimiento de estándares de calidad y la mejora continua. Contribuyendo también al cumplimiento de los objetivos institucionales relacionados con la mejora en el manejo de recursos y la transformación digital de procesos industriales.

Por tanto, el presente proyecto no solo propone una solución innovadora a una necesidad empresarial real, sino que además aporta al avance del conocimiento aplicado y al fortalecimiento de la relación entre la tecnología y el sector productivo.

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. Objetivo general

Diseñar un sistema inteligente para el manejo de bodegas en la empresa Dobladoras Cotopaxi, basado en realidad aumentada y lectura de información en tiempo real.

2.6.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado actual del proceso de gestión de inventarios y tiempos de búsqueda de materiales en la bodega de la empresa Dobladoras Cotopaxi identificando las principales ineficiencias.
- Diseñar la arquitectura tecnológica de un sistema de inventario que integre sensores de peso y realidad aumentada permitiendo la visualización espacial y la cuantificación en tiempo real de los materiales almacenados.
- Desarrollar un prototipo funcional de una aplicación móvil en realidad aumentada para la localización de materiales en bodega.
- Evaluar la usabilidad del sistema implementado y la reducción en los tiempos de búsqueda en comparación con el sistema actual.

2.7. SISTEMA DE TAREAS

Tabla 5. Sistema de tareas

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, métodos e instrumentos
<p>Diagnosticar el estado actual del proceso de gestión de inventarios y tiempos de búsqueda de materiales en la bodega de la empresa Dobladoras Cotopaxi identificando las principales ineficiencias.</p>	<p>Recolección de información mediante observación.</p> <p>Análisis de tiempos de búsqueda en el inventario actual.</p> <p>Levantamiento de los procesos.</p> <p>Análisis ABC.</p>	<p>Diagnostico documentado del proceso actual de inventarios.</p> <p>Lista de las principales ineficiencias en el proceso.</p> <p>Clasificación de materiales según su importancia (ABC)</p>	<p>Observación directa</p> <p>Análisis de procesos</p> <p>Método ABC</p> <p>Formato de levantamiento de procesos.</p>
<p>Diseñar la arquitectura tecnológica de un sistema de inventario que integre sensores de peso y realidad aumentada permitiendo la visualización espacial y la cuantificación en tiempo real de los materiales almacenados.</p>	<p>Selección de sensores de peso y componentes IoT adecuados.</p> <p>Desarrollo del esquema de conexión con protocolo MQTT.</p> <p>Modelado de la interfaz de usuario en Unity y RA.</p>	<p>Arquitectura tecnológica definida y documentada.</p> <p>Esquema funcional del sistema de inventario inteligente</p>	<p>Diseño de sistemas</p> <p>Matriz de caracterización para protocolo y selección de sensores.</p>
<p>Desarrollar un prototipo funcional de una aplicación móvil en realidad aumentada para la localización de materiales en bodega.</p>	<p>Programación del microcontrolador ESP32 y calibración de sensores.</p> <p>Integración de realidad aumentada con Unity y Vuforia.</p>	<p>Prototipo funcional del sistema de inventario inteligente.</p> <p>Evidencia de visualización de la información mediante RA</p>	<p>Desarrollo de software y hardware.</p> <p>Programación de microcontroladores, ESP32, sensores de peso, Unity, Vuforia, computadora.</p>

	Pruebas de conectividad entre el sistema físico y la app móvil.	Muestra de la entre el sistema físico y la app móvil	
Evaluar la usabilidad del sistema implementado y la reducción en los tiempos de búsqueda en comparación con el sistema actual.	Registro de errores antes y después de la implementación. Aplicación de encuesta de usabilidad. Análisis de resultados y elaboración de recomendaciones.	Comparación de tiempos antes y después de la implementación. Evaluación de desempeño del sistema propuesto. Nivel de satisfacción de los usuarios.	Pruebas funcionales. Estudio comparativo de tiempos. Registro de datos.

3. FUNDAMENTACION TEÓRICA

3.1. ANTECEDENTES

La gestión de inventarios es un aspecto clave en las operaciones logísticas y productivas de cualquier empresa, sobre todo en industrias que dependen de la disponibilidad continua de insumos para mantener sus procesos. Tradicionalmente, el manejo de inventarios se llevaba a cabo de forma manual o utilizando sistemas que se basaban en informes regulares, lo que resultaba en prolongados plazos de comprobación, altos márgenes de error humano y falta de visibilidad en tiempo real sobre todo el estado de las existencias [10]. En respuesta a estas limitaciones, el avance tecnológico vinculado a la Industria 4.0 ha fomentado la adopción de sistemas inteligentes que combinan dispositivos sensoriales, redes de comunicación, procesamiento de información y herramientas de visualización avanzada para mejorar la administración de las existencias.

La integración de tecnologías como el Internet de las cosas en la gestión de inventarios facilita la recolección automática de información a partir de sensores distribuidos, la transmisión eficiente de información hacia plataformas remotas y la posibilidad de realizar análisis en tiempo real para la toma de decisiones. En general, los estudios recientes indican que estos sistemas reducen los errores en los recuentos, aumentan la precisión de

los informes y mejoran el aprovechamiento de los recursos logísticos, al ofrecer una visibilidad continua del inventario sin requerir intervención humana constante [11].

Además, ciertos análisis revisados señalan que la automatización de inventarios apoyada por IoT puede reducir costos, mejorar niveles de servicio y facilitar la conexión de procesos logísticos con otros sistemas corporativos, como la planificación de producción y el control de la cadena de suministro. Este método implica un giro importante comparado con las técnicas tradicionales de manejo de inventarios, que se basan en conteos manuales, procedimientos reactivos y reportes que no posibilitan adaptaciones rápidas.

3.1.1. Sistemas de gestión de inventarios en entornos industriales

Los sistemas de inventarios en entornos industriales han ido incorporando progresivamente tecnologías que permiten automatizar y mejorar la supervisión de materiales. En modelos tradicionales, la actualización de datos de stock se realizaba de forma periódica y en función de registros manuales, lo que implicaba retrasos en la actualización de la información y generaba discrepancias entre el nivel real de existencias y los datos registrados en los sistemas de gestión. Esta inconsistencia afecta negativamente la planificación y los procesos operativos, especialmente en industrias con alta rotación de insumos [12].

Por esta razón, diversos trabajos [13],[14], han propuesto soluciones automatizadas que integran información proveniente de diferentes fuentes, permitiendo un control más fiable y continuo. Estas soluciones reducen la dependencia de la intervención humana y mejoran la sincronización entre actividades de producción, logística y planificación de recursos. En estos estudios se resalta que implementar sistemas automatizados para el manejo de existencias puede resultar en una reducción significativa de errores de registro y en una mejor coordinación para la reposición de materiales críticos.

3.1.2. Aplicación del internet de las cosas en control de inventarios

El internet de las cosas ha transformado múltiples áreas de la ingeniería al permitir la interconexión de dispositivos físicos en redes de datos, habilitando la captura, transmisión y procesamiento automatizado de información sin intervención constante del usuario. En el ámbito de control de existencias, IoT permite que sensores y microcontroladores recolecten datos de forma continua y los transmitan a plataformas de análisis o

visualización, lo que posibilita decisiones más rápidas y precisas sobre la disponibilidad de materiales [15].

Las aplicaciones de IoT en entornos industriales incluyen la monitorización de niveles de stock, la detección de condiciones anómalas y la generación de alertas automatizadas para la reposición o reasignación de recursos. Estudios recientes [16],[17] han destacado que la integración de IoT con sistemas de gestión pueden mejorar la exactitud de los datos y disminuir la frecuencia de discrepancias entre inventario físico y registros digitales, lo que se traduce en una mayor eficiencia operativa y menores costos asociados a prácticas de conteo manual.

3.1.3. Uso de sensores de peso para monitoreo de stock

La medición de peso mediante sensores especializados constituye un método eficaz para estimar la cantidad de material disponible en un punto de almacenamiento, especialmente cuando los elementos almacenados tienen un peso unitarios constante o predecible. Las celdas de carga y módulos de acondicionamiento de señal se utilizan para capturar variaciones de peso y, mediante algoritmos de conversión, inferir el número de unidades presentes en un contenedor o plataforma [18]. Este enfoque reduce la necesidad de realizar conteos manuales o inspecciones visuales continuas.

El análisis realizado sustenta la aplicación de sensores de peso integrados con sistemas de adquisición de datos para monitoreo continuo, destacando su utilidad en entornos industriales donde la consistencia del peso total puede traducirse a estimaciones fiables del volumen o cantidad de stock, Además, estos sensores pueden integrarse fácilmente con plataformas IoT, lo que permite transmitir la información obtenida a sistemas centrales sin intervención directa del operario[19],[20].

3.1.4. Aplicaciones de realidad aumentada en logística y bodegas

La RA permite superponer información digital en el entorno físico del usuario, lo que facilita la comprensión de datos complejos y mejora la interacción para mostrar datos relevantes como ubicaciones de materiales, preparación de pedidos y niveles de stock directamente sobre el campo de visión del operario, reduciendo la dependencia de interfaces tradicionales y minimizando errores de interpretación [21],[22].

Diversas investigaciones [23],[24] han demostrado que el uso de RA en contextos industriales contribuye a mejorar actividades operativas, ya que permite que el usuario

reciba información contextualizada sin desviar su atención de la tarea principal. Estas aplicaciones resultan especialmente útiles en procesos donde el acceso rápido y preciso a la información es crítico para la eficiencia de las operaciones.

3.1.5. Integración IoT y RA en sistemas industriales

Recientemente, ha surgido un interés creciente por combinar tecnologías de sonorización e IoT con interfaces avanzadas como la RA para desarrollar sistemas que no solo recolecten datos en tiempo real, sino que además los presenten de manera entendible y contextualizada al usuario. La integración de estas tecnologías permite que un operario visualice el estado del inventario directamente sobre los estantes o contenedores, representando tanto el nivel de stock como otra información relevante mediante gráficos o indicadores visibles en AR [11], [21]

Los estudios reportados en esta área [25], [26] sugieren que dicha integración mejora la eficiencia operativa, reduce la curva de aprendizaje de nuevas tecnologías y permite una respuesta más rápida ante situaciones dinámicas en el entorno de trabajo. Además, facilita la interacción hombre-máquina de forma más intuitiva y natural, lo que resulta beneficioso para tareas de supervisión y control en entornos industriales complejos.

3.2. INTERNET DE LAS COSAS (IoT)

3.2.1. Definición y evolución del IoT

El IoT se define como un modelo tecnológico que permite la interconexión de objetos físicos a través de redes de comunicación, posibilitando la recopilación, transmisión y análisis de datos de manera automática y distribuida. Estos objetos, equipados con sensores, actuadores y capacidades de procesamiento, pueden interactuar entre sí y con plataformas digitales sin necesidad de intervención humana constante [27].

La evolución de IoT está estrechamente vinculada al avance de tecnologías como la miniaturización de dispositivos electrónicos, el desarrollo de redes inalámbricas y la expansión de plataformas de computación en la nube. Inicialmente, los sistemas M2M permitieron la comunicación, básica entre dispositivos, sin embargo, con el crecimiento de IoT, esta interacción se amplió hacia ecosistemas inteligentes capaces de integrar múltiples fuentes de información y generar conocimiento útil para la toma de decisiones[28].

3.2.2. Arquitectura general de sistemas IoT

La arquitectura de un sistema IoT se estructura comúnmente en capas, cada una con funciones específicas que garantizan la correcta operación del sistema. De manera general, se identifican tres niveles principales: La capa de percepción, la capa de red y la capa de aplicación. La capa de percepción incluye los sensores y dispositivos encargados de capturar datos físicos del entorno, como temperatura, peso o ubicación[29].

La capa de red se encarga de transportar la información capturada hacia sistemas de procesamiento, utilizando protocolos de comunicación adecuados al tipo de aplicación y a las restricciones del entorno. Finalmente, la capa de aplicación permite el procesamiento, análisis y visualización de datos, ofreciendo servicios orientados al usuario final. Esta arquitectura modular facilita la escalabilidad y la integración de nuevos dispositivos o funcionalidades sin afectar el funcionamiento global del sistema IoT.

3.2.3. IoT aplicado a la industria 4.0

En la industrial 4.0, el IoT se posiciona como una de las tecnologías habilitadoras más relevantes, al permitir la digitalización y automatización de procesos productivos. A través de sensores conectados y sistemas inteligentes, las industrias pueden supervisar en tiempo real el estado de la maquinaria, flujos de materiales y niveles de recursos, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo tiempos de inactividad[30].

La aplicación del IoT en entornos industriales también posibilita la integración de datos provenientes de diferentes áreas de la planta, generando una visión integral del sistema productivo. Este enfoque contribuye a la mejora de la cadena de suministro, al facilitar el control de insumos críticos y permitir respuestas rápidas ante variaciones en la demanda o el consumo de materiales. En consecuencia, el IoT se convierte en un pilar fundamental para el desarrollo de sistemas industriales inteligentes y adaptativos.

3.2.4. Comunicación en sistemas IoT industriales

La comunicación es un elemento clave en los sistemas IoT industriales, ya que garantiza el intercambio confiable y eficiente de información entre dispositivos, servidores y aplicaciones. Debido a las limitaciones de ancho de banda, consumo energético y latencia presentes en entornos industriales, se han desarrollado protocolos de comunicación ligera y orientados a eventos, diseñados específicamente para este tipo de aplicaciones[31].

Entre los protocolos más utilizados se encuentran MQTT, CoAP y HTTP adaptado a IoT, los cuales permiten transmitir datos de forma eficiente incluso en redes inestables. La correcta selección del protocolo de comunicación influye directamente en el desempeño del sistema, afectando aspectos como la frecuencia de actualización de datos, la confiabilidad de la transmisión y la escalabilidad de la solución. Por ello, la comunicación en sistemas IoT industriales debe diseñarse considerando tanto las características del entorno físico como los requerimientos de la aplicación final.

3.3. SENSORES DE PESO Y SISTEMAS DE MEDICIÓN

3.3.1. Celdas de carga: principio de funcionamiento

Las celdas de carga constituyen dispositivos de medición ampliamente utilizados en aplicaciones industriales para la determinación de fuerzas y pesos. Su principio de funcionamiento se basa en la deformación mecánica de un elemento elástico cuando se aplica una carga, lo que genera una variación proporcional en la resistencia eléctrica de galgas extensométricas adheridas a dicho elemento. Esta variación es convertida en una señal eléctrica que puede ser procesada por sistemas electrónicos de adquisición de datos[32].

En la mayoría de aplicaciones industriales, las galgas extensométricas se configuran en un puente de Wheatstone, lo que permite mejorar la sensibilidad del sistema y compensar variaciones debidas a temperatura u otros factores ambientales. Este principio garantiza una respuesta lineal y repetible dentro del rango de operación especificado por el fabricante, razón por la cual las celdas de carga son empleadas en sistemas de pesaje automatizados y control de inventarios basados en peso[33].

3.3.2. Módulos de amplificación HX711

Debido a que la señal eléctrica generada por una celda de carga es de muy bajo nivel resulta necesario emplear un módulo de amplificación y conversión analógico-digital para su procesamiento. El módulo HX711, es un convertidor A/D de 24 bits diseñado específicamente para aplicaciones de pesaje, el cual integra un amplificador programable de bajo ruido y alta precisión[34].

El HX711 permite la lectura directa de celdas de carga mediante una interfaz digital sencilla, reduciendo la complejidad del hardware y facilitando su integración con microcontroladores como el ESP32. Diversos estudios y aplicaciones prácticas destacan su estabilidad, bajo consumo energético y facilidad de calibración, lo que lo convierte en

una solución adecuada para sistemas de medición de peso en tiempo real dentro de entornos industriales y prototipos de investigación[35].

3.3.3. Precisión, calibración y errores de medición

La precisión de un sistema de medición de peso depende tanto de las características propias de la celda de carga como del proceso de calibración aplicado. La calibración consiste en establecer una relación matemática entre la señal digital obtenida y el valor real del peso aplicado, utilizando masas con un patrón conocido. Un procedimiento de calibración adecuado permite minimizar errores sistemáticos y mejorar la exactitud del sistema[36].

Entre las principales fuentes de error presentes en los sistemas de pasaje se identifican la no linealidad, la histéresis, la deriva térmica y el ruido eléctrico. Estos factores pueden comprometer la exactitud y confiabilidad de las mediciones si no son debidamente considerados durante las etapas de diseño e implementación del sistema. Para aplicaciones industriales se toma en cuenta la selección de sensores cuya capacidad nominal sea superior a la carga máxima prevista, con el fin de evitar saturaciones y prolongar la vida útil del equipo[37].

3.3.4. Aplicaciones industriales de sensores de peso

Los sensores de peso son ampliamente utilizados en diversos procesos industriales, tales como la gestión de existencias, la dosificación de insumos, el seguimiento de la producción y la administración logística de almacenamiento. En particular, los sistemas basados en mediciones de masa permiten estimar la cantidad de unidades disponibles sin requerir un conteo físico individual, lo que favorece la reducción de los tiempos operativos y minimiza los errores derivados de la intervención humana[38].

En la industria 4.0, estos dispositivos se integran con sistemas basados en IoT, lo que posibilita la transmisión de información en tiempo real hacia plataformas de análisis y visualización. Dicha integración permite la supervisión remota del estado de los recursos, así como la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo y mecanismos automatizados de reposición de insumos, contribuyendo a una mejora significativa en la eficiencia global del sistema productivo[39].

3.4. MICROCONTROLADORES EN SISTEMAS IoT

3.4.1. Microcontroladores para aplicaciones IoT

Los microcontroladores constituyen el núcleo de procesamiento en los sistemas IoT, ya que permiten la adquisición, procesamiento y transmisión de datos provenientes del entorno físico. Estos dispositivos integran en un solo circuito unidades de procesamiento, memoria y periféricos en entrada y salida, lo que facilita el desarrollo de soluciones embebidas compactas y de bajo consumo energético. En aplicaciones industriales, la selección de microcontrolador resulta determinante para garantizar estabilidad operativa, escalabilidad y compatibilidad con distintos dispositivos de sensores[40].

En el entorno del IoT, los microcontroladores deben satisfacer requisitos adicionales, entre los que se incluyen la incorporación de interfaces de conectividad inalámbrica, la capacidad de procesamiento determinista en tiempo real y el soporte para protocolos de comunicación eficientes y de baja latencia. Estas prestaciones posibilitan una interacción continua y bidireccional entre el sistema físico y las plataformas digitales responsables del procesamiento, análisis y visualización de los datos, lo que facilita la automatización de procesos industriales y contribuye a la mejora de la eficiencia operativa.

3.4.2. Características técnicas del esp32

El ESP32 es un microcontrolador de alto rendimiento desarrollado por Espressif Systems, ampliamente utilizado en aplicación de IoT debido a su arquitectura avanzada y a la conectividad integrada que incorpora. Este dispositivo cuenta con un procesador de doble núcleo basado en la arquitectura de Tensilica Xtensa LX, capaz de operar a frecuencias de hasta 240 MHz, lo que permite ejecutar de manera eficiente tareas concurrentes asociadas a la adquisición de datos, la comunicación y las funciones de control[41].

Entre sus principales características técnicas se destacan la conectividad Wi-Fi y Bluetooth integradas, la disponibilidad de múltiples interfaces de comunicación tales como GPIO, SPI, I2C, UART y convertidores analógicos-digitales (ADC), así como un bajo consumo energético respaldado por diversos modos de gestión y ahorro de energía. Estas prestaciones convierten al ESP32 en una plataforma idónea para el desarrollo de sistemas distribuidos que requieren transmisión de datos en tiempo real y operación continua en entorno industriales[42].

3.4.3. Ventajas del esp32 en sistemas industriales

La incorporación del ESP32 en sistemas industriales presenta ventajas significativas en comparación con microcontroladores convencionales. Su conectividad inalámbrica integrada elimina la necesidad de módulos externos adicionales, lo que simplifica la arquitectura del sistema y contribuye a la reducción de costos de implementación. Asimismo, su elevada capacidad de procesamiento permite la ejecución local de algoritmos de filtrado, cálculo y control, minimizando la dependencia y la sobrecarga de sistemas externos de mayor nivel.

Otra ventaja relevante del ESP32 radica en su amplia compatibilidad con múltiples entornos de desarrollo y un extenso ecosistema de librerías de código abierto, lo que facilita su integración con una amplia variedad de sensores, módulos de adquisición de datos y plataformas de comunicación. Esta disponibilidad de recursos acelera los procesos de diseño, programación y puesta en marcha del sistema, además de reducir la dependencia de soluciones y propietarias.

Esta flexibilidad tecnológica resulta especialmente importante en aplicaciones industriales, donde los sistemas deben adaptarse a diversos escenarios operativos y a cambios en los requerimientos del proceso productivo. En este sentido, el uso del ESP32 permite la ampliación progresiva de las funcionalidades con las plataformas existentes, sin necesidad de realizar rediseños completos de la infraestructura tecnológica, favoreciendo la escalabilidad, la eficiencia operativa y la sostenibilidad a largo plazo de la solución implementada.

3.4.4. Integración de sensores y conectividad Wi-Fi

La integración de sensores con microcontroladores se realiza mediante interfaces digitales y analógicas que permiten la adquisición confiable de datos físicos. Gracias a su arquitectura de periféricos, el ESP32 puede conectarse simultáneamente a múltiples dispositivos de medición, gestionando la lectura periódica de señales y su posterior procesamiento. Esta capacidad es especialmente útil en sistemas donde se requiere monitorear varias variables de manera concurrente[43].

La conectividad Wi-Fi incorporada en el ESP32 posibilita la transmisión de la información adquirida hacia servidores remotos, brokers de mensajería o aplicaciones móviles, mediante el uso de protocolos de comunicación ligeros orientados a aplicación IoT. Esta capacidad permite que el sistema opere bajo un esquema distribuido y con intercambio

de datos en tiempo real, facilitando la supervisión remota de las variables del proceso y la interacción, eficiente del usuario con la información generada por el sistema físico. Asimismo, la comunicación inalámbrica contribuye a una mayor flexibilidad en la implementación del sistema, al reducir las limitaciones asociadas al cableado y favorecer la escalabilidad de la solución tecnológica[44].

3.5.PROTOCOLO MQTT

3.5.1. Definición y fundamentos del protocolo mqtt

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) es un protocolo de mensajería ligero, orientado a comunicaciones máquina a máquina (M2M), diseñado para operar en entornos con limitaciones de ancho de banda, alta latencia o conectividad inestable. Fue desarrollado inicialmente por IBM y Eurotech con el objetivo de facilitar la transmisión eficiente de datos en sistemas distribuidos y redes de sensores[45].

Desde el punto de vista técnico, MQTT se basa en un modelo de comunicación asincrónico que reduce la sobrecarga de red y minimiza el consumo de recursos computacionales. Su diseño compacto, junto con el uso de encabezados de tamaño reducido, lo convierte en una solución adecuada para aplicaciones IoT donde los dispositivos finales cuentan con capacidades de procesamiento y energía limitadas[46].

3.5.2. Arquitectura publicador-suscriptor

La arquitectura de MQTT se fundamenta en el paradigma publicador-subscriptor, en el cual los dispositivos no se comunican directamente entre sí, si no que a través de un intermediario denominado bróker. En este modelo, los nodos publicadores envían mensajes a tópicos específicos, mientras que los nodos suscriptores reciben únicamente la información correspondiente a los tópicos de su interés.

Esta estructura desacoplada permite una mayor escalabilidad y flexibilidad del sistema, que los dispositivos pueden incorporarse o retirarse sin afectar el funcionamiento global de la red. Además, la separación entre productores y consumidores de datos facilita la integración de múltiples fuentes de información y aplicaciones de visualización, lo que resulta especialmente ventajoso en sistemas industriales distribuidos[47].

3.5.3. Ventajas de MQTT en entornos industriales

En aplicaciones industriales, MQTT ofrece ventajas significativas frente a protocolos de comunicación tradicionales. Su bajo consumo de ancho de banda y su capacidad para operar sobre redes TCP/IP permiten una transmisión eficiente incluso en infraestructuras con recursos limitados. Asimismo, el protocolo incorpora distintos niveles de calidad de servicio (QoS), que garantizan la entrega de mensajes según los requerimientos de confiabilidad del sistema[48].

Otra característica relevante es la persistencia de sesión y la capacidad de retención de mensajes, lo que asegura que la información crítica no se pierda ante desconexiones temporales de los dispositivos. Estas propiedades hacen que MQTT sea ampliamente adoptado en sistemas de monitoreo industrial, supervisión remota y gestión de recursos, donde la continuidad y confiabilidad de los datos son aspectos esenciales.

3.5.4. Seguridad y eficiencia en comunicaciones MQTT

Si bien MQTT fue concebido inicialmente como un protocolo ligero, su implementación en entornos industriales requiere la incorporación de mecanismos de seguridad que garanticen la integridad, confidencialidad y autenticidad de la información transmitida, Para ello, MQTT puede operar sobre capas de seguridad como TLS/SSL, permitiendo el cifrado de los datos y la autenticación de los dispositivos conectados al bróker[49].

Desde el punto de vista de la eficiencia, la combinación de MQTT con mecanismos de seguridad adecuados no compromete significativamente el desempeño del sistema, siempre que se realice una correcta configuración de los parámetros de comunicación. Esto posibilita su uso en aplicaciones críticas donde se requiere un equilibrio entre eficiencia operativa y protección de la información, como sistemas industriales conectados y plataformas IoT de gestión de recursos [50].

3.6.SISTEMAS DE VISUALIZACIÓN Y DASHBOARDS DE INVENTARIO

3.6.1. Visualización de datos en tiempo real

La visualización de datos en tiempo real constituye un componente en los sistemas industriales modernos, ya que permite presentar información operativa de forma inmediata y comprensible para el usuario. En tanto a entornos productivos, la capacidad

de observar cambios instantáneos en variables críticas facilita la supervisión continua de procesos y reduce la dependencia de reportes estáticos o revisiones manuales periódicas. Desde una perspectiva técnica, la visualización en tiempo real se apoya en flujos continuos de datos provenientes de dispositivos conectados, los cuales son procesados y representados mediante elementos gráficos dinámicos. Este enfoque permite detectar variaciones, anomalías o tendencias sin necesidad de análisis posterior, lo que resulta particularmente relevante en sistemas de control de recursos donde la actualización constante de la información es un requisito operativo fundamental[51].

3.6.2. Dashboards como herramienta de apoyo a la toma de decisiones

Los dashboards industriales son interfaces visuales diseñadas para consolidar y presentar informaciones relevantes de manera estructurada, permitiendo al usuario interpretar el estado de un sistema de forma rápida y eficiente. Estos paneles integran datos provenientes de múltiples fuentes y los organizan mediante indicadores, gráficos y valores numéricos que facilitan la evaluación del desempeño operativo.

En el ámbito de la gestión de recursos industriales, los dashboards cumplen una función estratégica al apoyar la toma de decisiones basadas en datos objetivos. La representación visual de nivel de stock, consumo y disponibilidad permite anticipar necesidades de reposición, mejorar la asignación de materiales y reducir interrupciones en los procesos productivos. Diversos estudios señalan que el uso de dashboards interactivos mejora la comprensión del sistema y disminuye el tiempo requerido para identificar situaciones críticas[52].

3.6.3. Representación gráfica de inventarios mediante indicadores visuales

La representación gráfica de la información es un elemento clave para la interpretación eficiente de los datos en sistemas de gestión industrial. Entre las técnicas más utilizadas se encuentran los gráficos de barras, indicadores de nivel y visualizaciones comparativas, los cuales permiten mostrar cantidades relativas y absolutos de forma intuitiva[52].

En sistemas de control basados en sensores, los gráficos de barras dinámicos permiten observar de manera clara la variación de las unidades disponibles, facilitando la comparación entre distintos insumos o ubicaciones. Este tipo de representación reduce la carga cognitiva del usuario, ya que transforma valores numéricos en elementos visuales

fácilmente interpretables, lo que contribuye a una respuesta más rápida ante cambios en el sistema.

3.7. REALIDAD AUMENTADA

La RA constituye una tecnología emergente que permite superponer información digital generada por computadora sobre el entorno físico del usuario, manteniendo la percepción del mundo en tiempo real. A diferencia de la realidad virtual, la RA no sustituye completamente el entorno físico, sino que lo complementa con datos virtuales que aportan valor informativo y operativo.

En los últimos años, la RA ha experimentado una creciente adopción en sectores como manufactura, logística y gestión de bodegas, impulsada por la disponibilidad de dispositivos móviles con mayor capacidad de procesamiento, cámaras integradas y sensores avanzados. Su aplicación permite presentar información contextual directamente en el campo visual del usuario, favoreciendo la toma de decisiones rápida y precisas en entornos productivos dinámicos[53].

3.8. MOTORES DE DESARROLLO PARA APLICACIONES CON REALIDAD AUMENTADA

El desarrollo de aplicaciones con realidad aumentada en entornos industriales requiere el uso de motores de software que integren capacidades gráficas avanzadas, gestión de escenas tridimensionales, compatibilidad multiplataforma y comunicación con sistemas externos. Dado eso, Unity se ha consolidado como uno de los motores de desarrollo más utilizados para la creación de aplicaciones interactivas, debido a su arquitectura modular, soporte para gráficos 2D y 3D. y facilidad de integración con bibliotecas externas orientadas a IoT. Unity permite implementar interfaces dinámicas, dashboards de visualización y lógica de interacción mediante programación en lenguaje C#, lo que facilita la conexión con servicios de mensajería como MQTT para la recepción de datos en tiempo real. Adicionalmente, la integración de SDK Vuforia dentro del entorno Unity posibilita el desarrollo de aplicaciones de RA basadas en marcadores, permitiendo el reconocimiento preciso de imágenes y la superposición de modelos virtuales alineados espacialmente con objetos físicos. Esta combinación tecnológica ha demostrado ser eficaz en aplicaciones industriales orientadas a logística y gestión de materiales, al ofrecer estabilidad en el reconocimiento visual, bajo consumo de recursos y compatibilidad con

dispositivos móviles Android, lo que la convierte en una solución adecuada para prototipos funcionales de sistemas inteligentes de inventario[54], [55], [56].

4. MARCO METODOLÓGICO

4.1.ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque de investigación aplicada, debido a que se orienta a dar respuesta a una necesidad operativa concreta en la empresa Dobladoras Cotopaxi: tiempos inadecuados de búsqueda y errores en la localización de consumibles debido a la ausencia de un sistema digital adecuado. En este marco, se integraron procedimientos de diagnóstico, diseño e implementación de un prototipo funcional con el propósito de generar una mejora verificable en el proceso.

De forma complementaria, el componente cuantitativo permitió obtener evidencia objetiva e implementar los resultados, mediante la observación directa del proceso y el levantamiento de información sobre el proceso de funcionamiento de bodega. Esta aproximación facilita identificar ineficiencias operativas y sustentar a partir de evidencia descriptiva y técnica porque los resultados obtenidos posteriores a la implementación reflejan mejoras relevantes y consistentes con el objetivo del sistema propuesto.

4.2.DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación se desarrolló como un estudio de caso, debido a que el análisis, la implementación y la evaluación del sistema se ejecutaron en un contexto específico: la bodega de la empresa Dobladores Cotopaxi, considerando sus condiciones reales de trabajo, almacenamiento y localización de materiales. En términos de evaluación, se aplicó un diseño comparativo de tipo antes-después con dos componentes:

- Evaluación del desempeño del proceso donde se registraron los tiempos de búsqueda de consumibles en dos momentos:

Pre (situación inicial): Tiempos bajo el método de gestión vigente

Post (situación posterior): Tiempos luego de la implementación del prototipo funcional.

- Evaluación de usabilidad del sistema

Una vez implementado el prototipo, se recopiló información sobre la experiencia de uso por parte de los usuarios, valorando aspectos como facilidad de uso, claridad de la

información, comprensión del sistema y utilidad percibida para localizar materiales. Este componente permitió complementar los resultados cuantitativos con evidencia sobre la aceptación y funcionalidad práctica del sistema en el entorno real.

4.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo corresponde a una investigación aplicada, debido a que se orienta a proponer y validar una solución práctica frente a una necesidad identificada en la gestión de inventario de la empresa Dobladoras Cotopaxi. A su vez, se clasifica como de desarrollo en tanto se elabora una propuesta de sistema sustentada en el diagnóstico del proceso y en requerimientos del contexto real de bodega y como evaluativa porque valora el desempeño del prototipo implementado mediante resultados obtenidos durante su aplicación.

4.4. INVESTIGACIÓN APLICADA

4.4.1. Investigación descriptiva

En esta fase se realizó el levantamiento de procesos con el objetivo de comprender el funcionamiento de la bodega. A partir del levantamiento, se identificó y definió como objeto de trabajo un proceso específico clasificado dentro del mapa organizacional como proceso de apoyo a la gestión de consumibles. Este proceso fue seleccionado debido a su pertinencia para la intervención, dado que concentra actividades recurrentes de registro, almacenamiento, localización y entrega ya que permite evidenciar de manera directa las ineficiencias asociadas a los tiempos de búsqueda.

El diagnóstico del proceso de apoyo se desarrolló mediante observación directa y registro del flujo operativo identificando condiciones del entorno que influyen en la búsqueda, tales como criterios de ubicación, accesibilidad y dependencia del conocimiento práctico del personal. De manera complementaria, se aplicó el método ABC para priorizar consumibles relevantes, orientando el diseño del sistema hacia aquellos ítems de mayor impacto operativo.

4.4.2. Investigación comparativa

Posterior al diagnóstico y a la implementación del prototipo funcional, se desarrolló un componente comparativo con enfoque pre-post implementación, aplicado

específicamente al proceso de apoyo de gestión de consumibles. Para ello se efectuó un registro de tiempos de búsqueda en dos momentos.

- Antes de la implementación, considerando el procedimiento habitual de localización de consumibles
- Después de la implementación utilizando el sistema propuesto para apoyar la localización y la visualización de información.

Los resultados fueron organizados en dos tablas (pre-post) lo que permitió contrastarlos tiempos registrados y justificar la existencia de diferencias relevantes en el desempeño del proceso adicionalmente, se incorporó una valoración de usabilidad posterior al uso del sistema recopilando la percepción de los usuarios respecto a facilidad de uso, claridad de la información y utilidad práctica dentro del proceso.

4.5. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

4.5.1. Investigación documental

En esta fase se realizó la recopilación y análisis de información proveniente de fuentes secundarias, con el objetivo de sustentar el marco conceptual y técnico del proyecto. Se revisaron documentos, literatura especializada y material técnico relacionado con gestión de inventarios, clasificación ABC, control de consumibles y fundamentos asociados a soluciones de monitoreo y visualización.

Adicionalmente, se consideraron documentos internos disponibles y registros generales del proceso cuando correspondió con el fin de contextualizar la problemática y orientar el diseño del sistema. Esta revisión documental permitió establecer criterios para el levantamiento del proceso de apoyo seleccionado y para la estructuración de la propuesta implementada.

4.5.2. Investigación de campo

La investigación de campo se ejecutó directamente en la bodega de la empresa Dobladoras Cotopaxi, centrándose en el proceso de apoyo de gestión de consumibles como objeto de intervención. En este nivel se realizó el levantamiento del proceso mediante observación directa, el registro de tiempos de búsqueda antes y después de la implementación y la valoración de usabilidad con usuarios del sistema.

4.6. POBLACION Y MUESTRA

4.6.1. Población

La población de estudio estuvo constituida por el proceso de gestión de inventarios en bodega de la empresa Dobladoras Cotopaxi y de manera específica por el proceso de apoyo de gestión de consumibles, el cual compromete actividades de registro, almacenamiento, localización y entrega de insumos. Asimismo, se consideró como parte de la población al personal que interviene directamente en la búsqueda y manejo de consumibles dentro del área de bodega por ser usuarios del proceso y fuente directa de información para evaluación de la usabilidad del sistema.

4.6.2. Muestra

La muestra se definió mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, dado que se seleccionaron elementos directamente relacionados con el objeto de estudio y con la implementación del prototipo. En este sentido la muestra incluyó:

- Consumibles priorizados a partir de la clasificación ABC, enfocándose en aquellos de mayor relevancia para la operación.
- Un conjunto de registro de tiempos de búsqueda recopilados en dos momentos antes y después de la implementación, con el fin de permitir la comparación de resultados en condiciones operativas similares.
- Usuarios del proceso que interactuaron con el sistema implementado quienes aportaron información para la valoración de usabilidad mediante encuesta o registro de percepción posterior al uso.

4.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

4.7.1. Levantamiento de procesos

Para recopilar información del funcionamiento real del área de bodega, se realizó un levantamiento de procesos enfocados en el proceso de apoyo de gestión de consumibles. Esta técnica permitió documentar la secuencia de actividades, responsables y puntos críticos del flujo operativo estableciendo una base clara para el diagnóstico y la delimitación del objeto de estudio. El instrumento utilizado fue un formato de levantamiento, donde se describieron las etapas y condiciones observadas.

4.7.2. Observación directa

Se aplicó observación directa en el entorno real de bodega con la finalidad de identificar factores operativos que influyen en la eficiencia de la localización de consumibles, tales como organización del almacenamiento, criterios de ubicación, accesibilidad y recorridos habituales. Para sistematizar los hallazgos se utilizó una tabla para registrar los tiempos que se demoraban los operarios en la búsqueda de consumibles y observaciones pertinentes.

4.7.3. Registro comparativo de tiempos

Con el fin de evidenciar cambios en el desempeño del proceso, se realizó un registro comparativo de tiempo de búsqueda en dos momentos antes y después de la implementación. La información se organizó en dos tablas, lo que permitió contrastar los tiempos registrados bajo condiciones operativas comparables y sustentar la existencia de variaciones relevantes. El instrumento correspondió a tablas de registro con campos para la identificación de consumibles, tiempo de búsqueda y observaciones pertinentes.

4.7.4. Clasificación ABC

Para priorizar consumibles y enfocar el análisis en aquellos de mayor relevancia operativa, se utilizó el método ABC. Esta técnica permitió jerarquizar los consumibles según el criterio definido y establecer el grupo de elementos sobre los cuales se concentró el levantamiento y el registro de la primera tabla de registro de tiempos antes de la implementación del sistema. El instrumento utilizado fue una matriz ABC elaborada para la clasificación correspondiente.

4.7.5. Encuesta de usabilidad

Para complementar la evidencia operativa con criterios de aplicabilidad práctica, se utilizó una encuesta de usabilidad dirigida a los usuarios que interactuaron con el sistema. Esta técnica permitió recoger la percepción sobre facilidad de uso, claridad de la información y utilidad del sistema para la localización del consumible. El instrumento correspondió a un cuestionario estructurado aplicado posterior al uso del sistema.

4.8. DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROTOTIPO FUNCIONAL

El prototipo funcional se desarrolló con el propósito de fortalecer el proceso de apoyo de gestión de consumibles en bodega, permitiendo disponer de información actualizada y

facilita la localización de insumos mediante una solución integrada. Para ello se definió una arquitectura compuesta por un subsistema de captura de datos, un subsistema de transmisión y un subsistema de visualización los cuales operan de manera articulada para habilitar la lectura y presentación de información en tiempo real.

En el subsistema de captura de datos se incorporaron sensores de peso con su respectivo módulo de lectura, conectados a un microcontrolador ESP32. Esta configuración permitió obtener lecturas consistentes del peso asociado a los consumibles monitoreados, considerando procesos de calibración y verificación básica para asegurar estabilidad en la adquisición de datos. La lectura generada por el microcontrolador constituye la entrada principal del sistema y representa el estado del consumible dentro del proceso operativo.

El subsistema de transmisión se estructuró para enviar la información desde el microcontrolador hacia la aplicación mediante un esquema de comunicación basado en MQTT con el fin de mantener una comunicación ligera y adecuada para el intercambio de datos en tiempo real. La transmisión se configuró de manera que los datos capturados puedan ser consultados por el entorno de visualización garantizando continuidad en la actualización de la información durante el uso del sistema.

El subsistema de visualización se desarrolló como una aplicación móvil realizada en Unity, integrando RA (Vuforia) para facilitar la presentación de la información asociada a los consumibles dentro del entorno de bodega. La interfaz de la aplicación se orientó a mostrar el estado del inventario y apoyar la localización de manera comprensible para el usuario final, considerando criterios de claridad visual y usabilidad en función del proceso de apoyo seleccionado. La integración de estos componentes permitió disponer de un prototipo funcional operativo para su aplicación en el contexto real, el cual posteriormente fue utilizado en la comparación de tiempo y en la valoración de usabilidad realizada con usuarios del proceso.

4.9. PUESTA EN MARCHA Y VERIFICACIÓN FUNCIONAL DEL PROTOTIPO

La puesta en marcha del prototipo se ejecutó en el entorno real de la bodega de Dobladoras Cotopaxi, aplicándolo al proceso de gestión de consumibles. Esta fase tuvo como propósito verificar que el sistema funcionara de manera operativa y estable antes de su evaluación, confirmando la integración entre captura de datos, transmisión y visualización.

Como primera instancia, se verificó la adquisición de datos desde los sensores de peso hacia el microcontrolador comprobando que las lecturas fueran coherentes y repetibles

bajo las condiciones de uso definidas. Posteriormente, se comprobó la transmisión de información mediante el esquema de comunicación configurado, validando que los datos llegaran al entorno de visualización sin pérdidas evidentes ni interrupciones que afectaran su utilización.

Se realizó la verificación de la visualización en la aplicación móvil con realidad aumentada, comprobando que la información presentada correspondiera a los datos transmitidos y que pudiera ser interpretada por el usuario dentro del flujo operativo. Como estas comprobaciones se estableció que el prototipo se encontraba en condiciones funcionales para ser utilizado en la fase de evaluación.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

5.1.OBJETIVO 1

5.1.1. Recolección de la información mediante observación

Con el fin de diagnosticar el estado actual del proceso de gestión de inventarios en Dobladoras Cotopaxi, se realizó una observación directa del funcionamiento real de la bodega de consumibles y su interacción con las áreas operativas. Como parte de esta observación se midió el tiempo total del recorrido, diferenciando las cosas en las que el consumible fue entregado frente a aquellos en los que el operario regresó sin material por falta de disponibilidad. Esta información permitió evidenciar tiempos muertos asociados a la búsqueda de consumibles y sustentar la necesidad de una solución que permita verificar stock antes del desplazamiento, reduciendo recorridos innecesarios.

A continuación, en la Tabla 6, se muestra los registros de observación y tiempos de búsqueda de los consumibles con el número de operarios que tiene la organización.

Tabla 6. Registro de observación y tiempo de búsqueda de consumibles.

Nº	Operario	Área de origen	Consumible requerido	¿Se encontró?	Tiempo total (min: seg)	Observaciones
1	Operario 1	Soldadura	Electrodo E308-L	Si	01:20	Entrega normal
2	Operario 1	Corte	Disco de corte	Si	01.05	Ubicación rápida

3	Operario 1	Acabado	Disco Flap	Si	01:15	Búsqueda corta
4	Operario 1	Corte	Disco de corte	Si	01:20	Entrega normal
5	Operario 1	Soldadura	Electrodo E308-L	No	02:00	Mala ubicación
6	Operario 1	Acabado	Disco de pulir.	Si	01:25	Entrega normal
7	Operario 2	Soldadura	Electrodo E308-L	No	02:10	No encontrado
8	Operario 2	Corte	Disco de corte	Si	01:35	Encontrado
9	Operario 2	Acabado	Disco de pulir pequeño	No	01:55	Mala ubicación, pocas unidades
10	Operario 2	Acabado	Disco de pulir pequeño	Si	01:45	Demora en subir las escaleras
11	Operario 2	Acabado	Disco flap	No	02:05	No encontrado
12	Operario 2	Corte	Disco de corte	Si	01:20	Ubicación rápida
13	Operario 3	Acabado	Disco flap	Si	01:00	Ubicación rápida
14	Operario 3	Acabados	Disco de corte	Si	01:10	Entrega normal
15	Operario 3	Soldadura	Electrodo E308-L	No	01:50	No encontrado Mala ubicación
16	Operario 3	Corte	Disco de corte	Si	01:15	Ubicación rápida

17	Operario 3	Acabados	Disco flap	No	02:15	Demora en subir las escaleras, no encontrado
18	Operario 3	Soldadura	Electrodo E308-L	Si	01:25	Entrega normal

La Tabla 6. presenta el registro de tiempos observados en el proceso actual de abastecimiento intento de consumibles, considerando a tres operarios en condiciones normales de trabajo. En cada evento se documenta el área de origen, el consumible requerido, si es ítem fue o no encontrado y el tiempo total empleado desde que el operario deja su puesto de trabajo en la empresa hasta que retorna. Los resultados evidencian variabilidad entre operarios y situaciones recurrentes en la que el trabajador realiza el recorrido completo, pero retorna sin consumible por falta de stock o que se ubicara en otra estantería, lo que representa tiempo improductivo y retrasos en la continuidad de las operaciones.

A continuación, se muestra en la Tabla 7 el resumen por cada operario

Tabla 7. Resumen por operario

Operario	Registros	Veces no encontradas	Porcentaje	Tiempo promedio	Tiempo máximo
Operario 1	6	1	16,7%	01:26	02:00
Operario 2	6	3	50%	01:48	02:10
Operario 3	6	2	33,3%	01:33	02:15

La Tabla 7. sintetiza los resultados del registro de observación por operario, mostrando el número de eventos registrados, la cantidad de veces en que el consumible no fue encontrado, el porcentaje de no disponibilidad y los indicadores de tiempo.

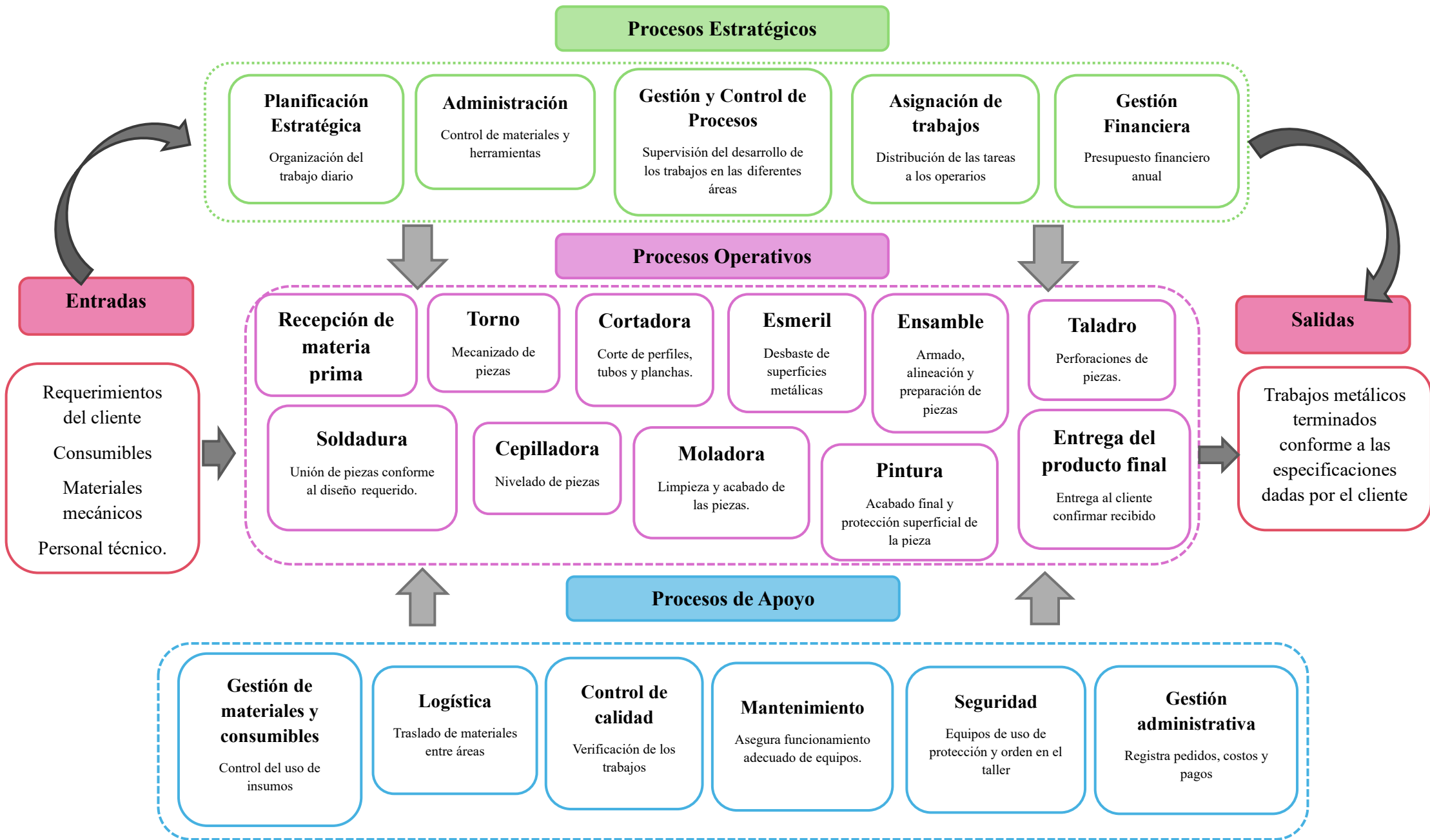
Esta tabla permite comparar el comportamiento entre operarios y dimensionar el impacto operativo de los recorridos hacia la bodega, evidenciando que la falta de disponibilidad o cambiarlo de ubicación no ocurre de manera uniforme y que, en los casos no encontrados,

se generan tiempos muertos que afectan la continuidad del trabajo y la productividad de la empresa.

5.1.2. Análisis de tiempos de búsqueda en el inventario actual

A partir de los registros obtenidos en la observación directa, se realizó el análisis de los tiempos de búsqueda y abastecimiento de consumibles considerando el recorrido completo del operario desde el taller hasta la bodega y su retorno. Para ello, se compararon los tiempos totales por evento y por operario, diferenciando los casos en los que el consumible fue entregado de aquellos en los que el operario regreso sin material por falta de stock o una mala ubicación, identificando así el componente de tiempo muerto asociado a desplazamientos innecesarios. Este análisis permitió cuantificar la variabilidad del proceso actual, evidenciar la frecuencia de la no disponibilidad y establecer una línea base d impacto operativo que se busca reducir mediante la propuesta de verificación de stock previa al desplazamiento.

5.1.3. Mapa de procesos



5.1.4. Levantamiento de procesos

El diseño y levantamiento de procesos proporciona una manera organizada y clara de definir las acciones que se llevarán a cabo dentro de una empresa, con el objetivo de aumentar la eficiencia operativa, la calidad de los productos y la satisfacción de los clientes [57]. En Dobladoras Cotopaxi, una compañía que se especializa en el corte, doblado y moldeado de materiales metálicos, se llevaron a cabo la identificación y el análisis de las actividades clave que sustentan su funcionamiento, buscando establecer un sistema estructurado, medible y enfocado en la mejora continua. Este análisis se realizó considerando la naturaleza del trabajo por pedido y la diversidad de los servicios que presta la empresa.

Estos procesos fueron clasificados en tres grandes categorías: estratégicos, operativos y de apoyo, siguiendo la línea con el modelo de gestión sugerido por la norma ISO 9001:20015 [58]. Esta metodología facilita una administración eficiente, permite una identificación clara de las actividades que se ejecuten en cada área productiva y garantiza el seguimiento de las labores ejecutadas, incluso cuando los procesos no están totalmente estandarizados, tales como los que ocurren en los talleres que operan bajo demanda [59].


5.1.4.1. Procesos estratégicos

Los procesos estratégicos son aquellos que ayudan a establecer la dirección y los objetivos de la empresa, garantizando que las actividades operativas se lleven a cabo de forma ordenada y en concordancia con la estrategia general. De acuerdo con las normas ISO 9001:2015, están relacionados con la planificación, el liderazgo y la mejora continua, siendo fundamentales para el desempeño global de la entidad [58].

Para Dobladoras Cotopaxi, las actividades clave se centran en organizar las actividades, las solicitudes de los clientes y decidir sobre la producción. Estos procesos facilitan la sincronización de las secciones de producción del taller y aseguran que se respeten los tiempos de entrega y los requisitos técnicos establecidos.

La Tabla 8, muestra los procesos estratégicos de la empresa Dobladoras Cotopaxi que se enfoca en la planificación estrategia, administración, gestión y control de procesos, asignación de trabajos y gestión financiera.

Tabla 8. Procesos estratégicos de Dobladoras Cotopaxi

 DOBLADORAS COTOPAXI PROCESOS ESTRATEGICOS (PE)		
Código	Proceso	Subproceso
PE-1	Planificación estratégica	<ul style="list-style-type: none"> • Organización del trabajo diario. • Revisión de planos, medidas y requerimientos del cliente. • Distribución de actividades según el tipo de trabajo solicitado.
PE-2	Administración	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión del talento humano de la entidad. • Control de materiales, herramientas y financieros.
PE-3	Gestión y control de procesos	<ul style="list-style-type: none"> • Seguimiento del avance de los trabajos en cada área. • Verificación del cumplimiento de tiempos y especificaciones técnicas.
PE-4	Asignación de trabajos	<ul style="list-style-type: none"> • Delegación de tareas a cada uno de los operarios • Coordinación de las áreas productivas
PE-5	Gestión financiera	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de un presupuesto financiero anual, para materia prima y herramientas. • Control de ingresos y egresos • Gastos operativos

5.1.4.2. Procesos operativos


Los procesos operativos se refieren a las que tienen una conexión directa con la transformación del material y la creación del producto final requerido por el consumidor. Estas actividades forman parte del corazón de la producción en la entidad, ya que en ellas

se realizan las funciones técnicas que agregan valor al material metálico, de acuerdo a las especificaciones establecidas en cada orden [60].

En Dobladoras Cotopaxi, los procesos operativos se desarrollan en las áreas productivas del taller, las cuales interviene en orden secuencial o dependiendo del tipo de tarea que se necesite. Dado que la empresa opera según un modelo de producción bajo demanda, no todos los trabajos siguen la misma secuencia, por lo tanto, cada sección funciona como un proceso autónomo que ayuda a cumplir el pedido del cliente.

A continuación, la Tabla 9, muestra los procesos operativos de la empresa Dobladoras Cotopaxi, la cual cumple con los requerimientos dados por el cliente.

Tabla 9. Procesos Operativos en la empresa Dobladoras Cotopaxi.

 DOBLADORAS COTOPAXI PROCESOS OPERATIVOS (PO)		
Código	Procesos	Subproceso
PO-A-1	Recepción de la materia prima	<ul style="list-style-type: none"> • Coordinar la entrega con el proveedor • Recibir y revisar documentos • Descargar y contar la materia prima • Registrar lo recibido • Etiquetar y guardar en la bodega • Actualizar inventario
PO-A-2	Torno	<ul style="list-style-type: none"> • Mecanizado de piezas cilíndricas y componentes especiales. • Ajuste de dimensiones conforme a las tolerancias requeridas.
PO-A-3	Corte	<ul style="list-style-type: none"> • Corte de perfiles, tubos y planchas metálicas según dimensiones solicitadas. • Preparación del material para procesos posteriores.
PO-A-4	Esmeril	<ul style="list-style-type: none"> • Desbaste y limpieza de bordes y superficies metálicas.

		<ul style="list-style-type: none"> • Acabado de piezas y eliminación de imperfecciones.
PO-A-5	Ensamble	<ul style="list-style-type: none"> • Armado y alineación de piezas antes de la soldadura. • Verificación de medidas y posición de los componentes.
PO-A-6	Taladro	<ul style="list-style-type: none"> • Perforación de piezas metálicas según medidas establecidas. • Verificación de diámetro y posición de los orificios.
PO-A-7	Soldadura	<ul style="list-style-type: none"> • Unión de piezas metálicas según diseño y medidas requeridas. • Verificación visual de la resistencia y alineación de las uniones.
PO-A-8	Pintura	<ul style="list-style-type: none"> • Preparación superficial de las piezas metálicas. • Aplicación de pintura como acabado y protección del material.
PO-A-9	Cepilladora	<ul style="list-style-type: none"> • Rectificado y nivelado de superficies metálicas. • Conformación de piezas rectas según especificaciones.
PO-A-10	Moladora	<ul style="list-style-type: none"> • Desbaste y corte superficial del material metálico • Limpieza y acabado de piezas y cordones de soldadura.
PO-A-11	Entrega de producto final	<ul style="list-style-type: none"> • Preparar el producto para entregar • Registrar la salida • Entregar al cliente y confirmar recibido.


5.1.4.3. Procesos de apoyo

Los procesos de apoyo son los que proporcionan los recursos requeridos para el adecuado desempeño de procesos estratégicos y operativos, sin particularidad de manera directa en la modificación del producto. De acuerdo con la norma ISO 9001:2015, estas técnicas garantizan la disponibilidad de recursos y el mantenimiento de las actividades dentro de la entidad [58].

Para Dobladoras Cotopaxi las actividades de apoyo son fundamentales ya que están ligadas a la gestión de insumos, el cuidado básico de maquinarias, la protección laboral y las actividades administrativas, las cuales contribuyen al correcto funcionamiento del taller y a la realización de los pedidos requeridos.

En la Tabla 10, se muestra los procesos de apoyo en la empresa Dobladoras Cotopaxi los cuales garantizan el funcionamiento a adecuado de la entidad y ofreciendo una buena calidad del producto al cliente.

Tabla 10. Procesos de apoyo de la empresa Dobladoras Cotopaxi.

 DOBLADORAS COTOPAXI PROCESOS DE APOYO (PA)		
Código	Proceso	Subproceso
PA-1	Gestión de materiales y consumibles	<ul style="list-style-type: none">• Control de ingreso, uso y reposición de materiales y consumibles.• Almacenamiento básico de insumos.
PA-2	Logística interna	<ul style="list-style-type: none">• Traslado de materiales entre áreas del taller.• Organización del flujo interno de trabajo.
PA-3	Control de calidad	<ul style="list-style-type: none">• Verificación de medidas y acabados del trabajo.• Revisión final antes de la entrega al cliente.

PA-4	Mantenimiento de equipos	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión y mantenimiento de máquinas y herramientas. • Corrección de fallas menores.
PA-5	Seguridad y orden	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de equipos de protección personal. • Orden y limpieza de las áreas de trabajo
PA-6	Gestión administrativa	<ul style="list-style-type: none"> • Registro de pedidos y trabajos realizados. • Control básico de costos y pagos.

5.1.4.4. Descripción de los procesos operativos de la empresa

Proceso de recepción de materia prima


En la recepción de materia prima la empresa recibe los materiales entregados por el proveedor y verifica que correspondan a lo solicitado. Incluye la revisión básica de documentos de entrega, el conteo de las cantidades recibidas y la comprobación del estado físico del material para asegurar que no existan daños o inconsistencias. Una vez confirmada la conformidad, se registra el ingreso y se almacena la materia prima en el área asignada de la bodega, quedando disponible para su uso en los procesos de producción. En la **Figura 1**, se muestra el proceso de recepción de materia prima en la empresa y su almacenamiento en la bodega.



Figura 1. Almacenamiento de materia prima en la bodega de Dobladoras Cotopaxi.

A continuación, en la Tabla 11, se muestra el levantamiento de procesos de la recepción de materia prima, desde su ingreso hasta su almacenamiento en la bodega de la empresa Dobladoras Cotopaxi.

Tabla 11. Levantamiento de procesos: Recepción de materia prima

	Proceso	Recepción de materia prima
	Código	PO-A-1
Objetivo	Recibir la materia prima entregada por el proveedor, verificar cantidad y estado, registrar el ingreso y almacenar el material para su disponibilidad en producción.	
Entradas	Materia prima entregada por el proveedor, documentos de entrega.	
Recursos	Personal operario, personal responsable de la bodega, zona de descarga, herramientas (lista de verificación, esfero, etiquetas), equipos de apoyo.	
Salidas	Materia prima almacenada y disponible, registro de ingreso actualizado, novedades registradas.	
Nº	Actividad	Descripción
1	Coordinación de entrega	Se confirma la llegada del proveedor y se define el lugar de recepción y descarga.
2	Recepción y revisión de documentos	Se revisa la guía o factura de entrega para identificar lo que se está recibiendo.
3	Descarga del material	Se descarga la materia prima en el área designada, asegurando orden y seguridad básica.
4	Conteo y verificación de cantidades	Se cuentan unidades o se verifica la cantidad recibida y se compara con el documento.
5	Revisión del estado del material	Se realiza una inspección visual rápida para detectar daños o material incorrecto.
6	Registro de recepción	Se registra lo recibido y se anotan novedades si existen diferencias.

7	Etiquetado y almacenado	Se identifica el material y se ubica en la bodega en el lugar asignado.
8	Actualización del inventario	Se actualiza el registro interno de inventario con el ingreso de materia prima.

La Tabla 11, describe de manera secuencial el proceso operativo de recepción de materia prima en Dobladoras Cotopaxi, detallando cada una de las actividades que se realizan desde la llegada del proveedor hasta la actualización del inventario, estas actividades garantizan que la materia prima que se receipta este en buen estado y quede correctamente ubicada y disponible para su uso en producción.

En la Figura 2, se presenta el diagrama del proceso de recepción de materia prima modelado en Bizagi, donde se visualiza la secuencia de actividades y el punto de decisión de conformidad.

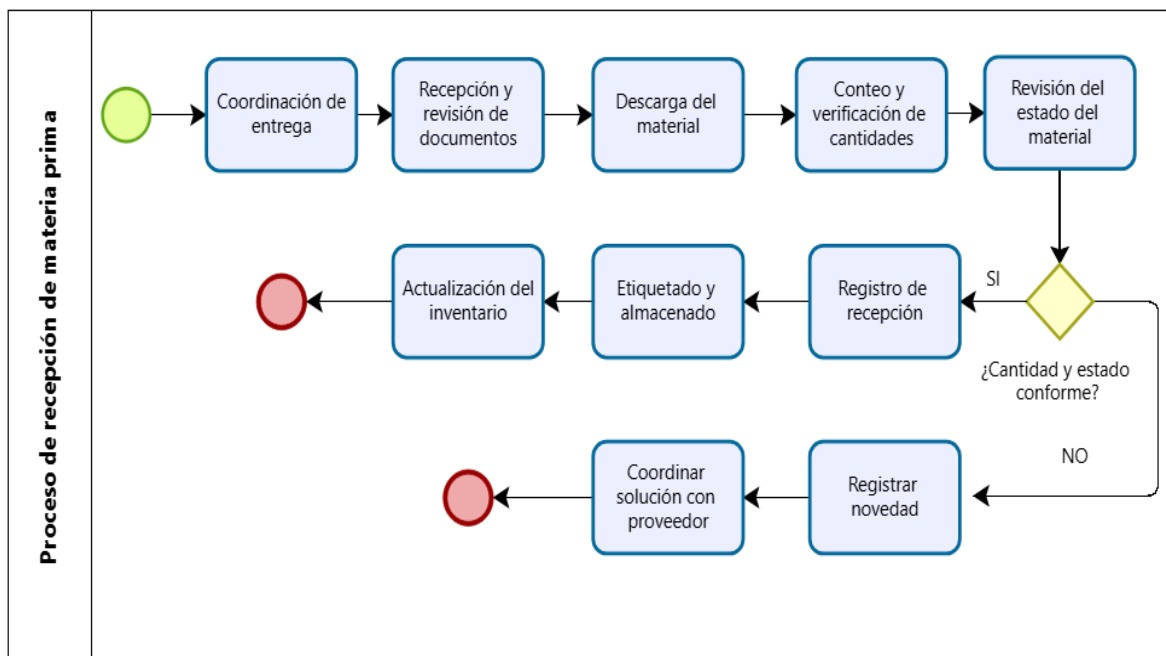


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso: recepción de materia prima

Proceso de torno

En la Figura 3, se muestra el proceso de torno el cual es el encargado del mecanizado de piezas metálicas que requieren precisión dimensional. En este proceso se realizan operaciones de desbaste y acabado, ajustando diámetros, longitudes y tolerancias


conforme a planos o especificaciones técnicas según el requerimiento del cliente. Además, se verifica continuamente el estado de la pieza durante el mecanizado para evitar defectos, asegurando que los componentes cumplan con los requisitos necesarios antes de pasar a los diferentes procesos para terminar el producto.



Figura 3. Proceso de torneado de piezas metálicas.

A continuación, en la Tabla 12, se muestra el levantamiento de procesos de torneado en la empresa Dobladoras Cotopaxi, las cuales permiten garantizar un mecanizado adecuado de las piezas metálicas dentro del flujo productivo del taller.

Tabla 12. Levantamiento de procesos: Torno

	Proceso	Torno
	Código	PO-A-2
Objetivo	Realizar el mecanizado de piezas metálicas mediante el uso del torno, asegurando el cumplimiento de las dimensiones y características requeridas para realizar la actividad.	
Entradas	Piezas metálicas, requerimientos del trabajo, medidas especificadas, refrigerante, energía eléctrica.	

Recursos	Operario, torno, herramientas de corte, instrumentos de medición, herramientas auxiliares: llave de plato, cepillo, etc., EPP.	
Salidas	Piezas mecanizadas conforme a las dimensiones requeridas.	
N°	Actividad	Descripción
1	Recepción de la pieza	Recepción del material metálico proveniente de las diferentes áreas de trabajo.
2	Verificación de medidas	Revisión de las dimensiones y características solicitadas para el mecanizado.
3	Montaje de la pieza en el torno	Colocación y fijación adecuada de la pieza para garantizar estabilidad durante el trabajo.
4	Ajuste de herramientas	Selección y ajuste de las herramientas de corte necesarias para el mecanizado.
5	Proceso de torneado	Ejecución del mecanizado según las medidas establecidas.
6	Verificación final	Comprobación de las dimensiones obtenidas en la pieza mecanizada.
7	Retiro y traslado	Retiro de la pieza del torno y envío al siguiente proceso

En la Figura 4, muestra las secuencias de las actividades que conforman el proceso de tornado, desde la recepción de la pieza metálica hasta el envío al siguiente proceso productivo. Asimismo, se incluye un punto de decisión para verificación y cumplimiento de las medidas requeridas por el cliente.

El diagrama permite visualizar los puntos de control del torneado, así como el punto de decisión que valida la conformidad del mecanizado. Si no se cumplen criterios como las medidas requeridas por el cliente, el flujo vuelve hace el trabajo de torneado, hasta tener medidas precisas para enviar la pieza hacia el siguiente proceso.

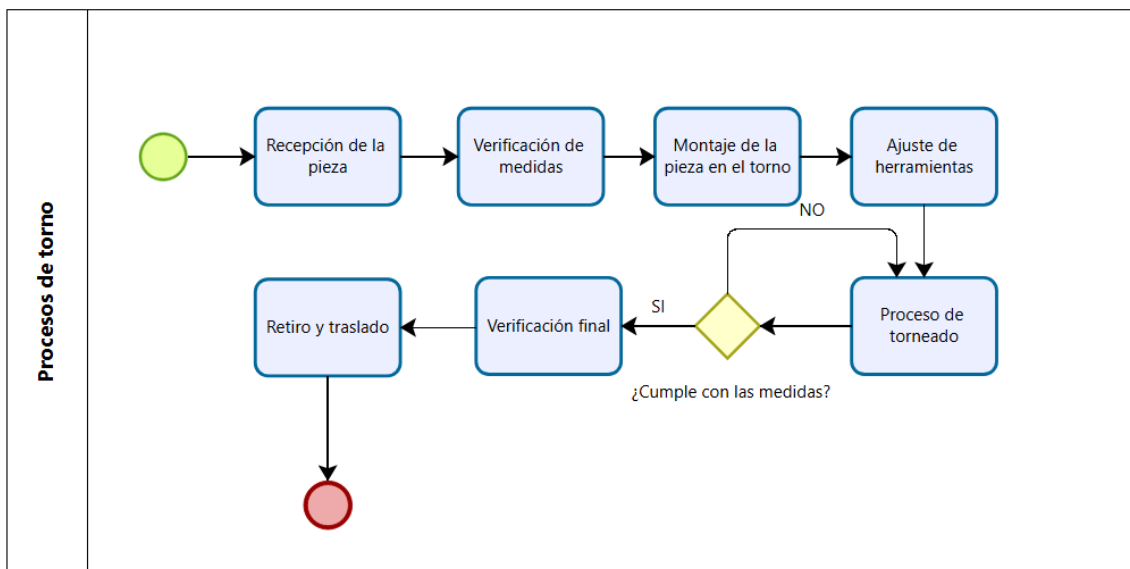


Figura 4. Diagrama de flujo de los procesos de torneado

Proceso de corte

En el proceso de corte se desarrolla el paso inicial de transformación del material metálico, donde se recibe la materia prima y se realizan actividades de dimensionamiento utilizando una maquina fija equipada con un disco de gran tamaño, como medición, marcado y corte de perfiles, tubos o planchas, de acuerdo con los requerimientos técnicos del cliente.

La pieza se posiciona y alinea sobre la base de corte utilizando topes o referencias para asegurar la medida requerida y se sujeta para evitar desplazamientos durante la operación. Una vez verificada la correcta ubicación, el operario acciona el descenso del disco de corte, manteniendo una alimentación controlada para prevenir desviaciones, rebabas o sobrecalentamiento del material, después de terminar se realiza una verificación rápida del dimensionamiento.


Como se muestra en la Figura 5, esta zona constituye la verificación del tipo de material y sus dimensiones antes y después del corte, asegurando que las piezas cumplan con las medidas establecidas. Una vez finalizado el proceso, el material cortado es organizado y trasladado a las siguientes áreas del taller para continuar el proceso productivo.



Figura 5. Proceso de corte de la materia prima

En la Tabla 13, se observan las actividades que se realizan en el proceso de corte, permitiendo identificar de manera clara las etapas necesarias para el dimensionamiento del material metálico dentro de la empresa.

Tabla 13. Levantamiento de procesos: Corte

	Proceso	Corte
	Código	PO-A-3
Objetivo	Realizar el dimensionamiento del material metálico mediante operaciones de corte, asegurando que las piezas cumplan con las medidas requeridas para continuar con el proceso productivo	
Entradas	Materia prima metálica, requerimiento del trabajo, medidas específicas, energía eléctrica, consumibles de corte.	
Recursos	Operario, máquina de corte con disco de gran dimensión, herramientas de medición y trazado, EPP	
Salidas	Material metálico cortado conforme a las dimensiones solicitadas.	

N°	Actividad	Descripción
1	Recepción del material	Recepción del material metálico proveniente del almacenamiento en bodegas.
2	Verificación de medidas	Revisión de las dimensiones requeridas para el corte del material
3	Marcado del material	Señalización de las líneas de corte según las dimensiones establecidas
4	Colocación del material en la máquina	Posicionamiento adecuado del material para asegurar estabilidad durante el corte.
5	Ejecución del corte	Realización del corte utilizando la máquina fija con disco de gran tamaño
6	Verificación del corte	Comprobación de que el material cortado cumple con las medidas requeridas.
7	Traslado del material	Envío del material cortado al siguiente proceso.

En la Figura 6, se representa la secuencia de actividades necesarias para el dimensionamiento del material metálico, desde la recepción del material hasta su envío al siguiente proceso de producción. Además, se incorpora un punto de decisión para verificar el cumplimiento de las medidas requeridas, permitiendo realizar ajustes cuando sea necesario.

Este diagrama ayuda a identificar con claridad el orden de las actividades del proceso de corte y los momentos en los que se deben realizar control, lo que permite ejecutar el dimensionamiento de manera más consistente. Al concluir el punto de decisión, se facilita detectar a tiempo desviaciones en las medidas y aplicar ajustes inmediatos antes de continuar, reduciendo reprocesos y contribuyendo a que la pieza avance con un mejor acabado hacia el siguiente proceso.

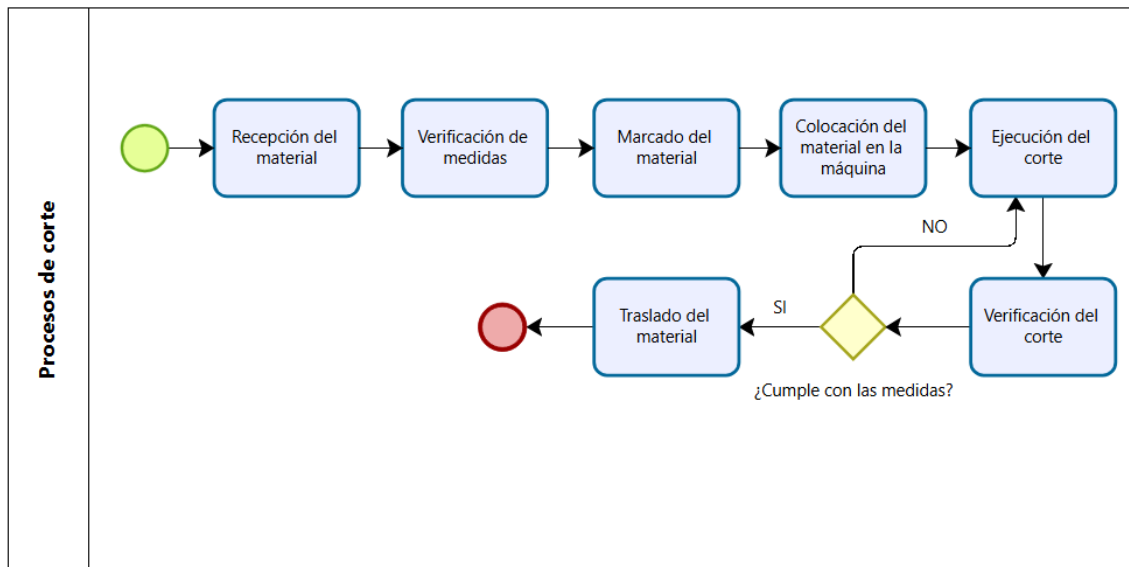


Figura 6. Diagrama de flujo de los procesos de corte.

Proceso de esmeril

El proceso de esmeril se utiliza para el desbaste y acabado inicial de piezas metálicas mediante el uso de un disco de gran tamaño. En esta zona se realizan trabajos estacionarios que permiten eliminar rebabas, corregir bordes y mejorar superficies de manera controlada. En este proceso se aplica principalmente a piezas que requieren estabilidad y precisión básica antes de continuar con los diferentes procesos productivos.

En este proceso se controla que la pieza permanezca firme sujeta y que el operario mantenga una postura estable, ya que la calidad del desbaste depende de aplicar presión y ángulo de contacto de forma constante para evitar mordidas y que la pieza tenga una buena calidad para así tener una pieza uniforme y lisa y así continuar con al siguiente proceso.


En la Figura 7, se ilustra la zona donde se encuentra el esmeril para acabado de piezas metálicas., este equipo permite remover rebabas, irregularidades e imperfecciones mediante contacto controlado entre pieza y disco.



Figura 7. Esmeril para acabados de piezas metálicas.

En la Tabla 14, se describen las actividades básicas del proceso de esmerilado, las cuales permiten preparar las piezas metálicas para las siguientes etapas productivas.

Tabla 14. Levantamiento de procesos: Esmeril

	Proceso	Esmerilado
	Código	PO-A-4
Objetivo	Realizar el desbaste y corrección de bordes y superficies en piezas metálicas, garantizando un acabado adecuado para continuar con el proceso productivo	
Entradas	Piezas metálicas, orden de trabajo, energía eléctrica, insumos de pieza y refrigeración.	
Recursos	Operario, esmeril, herramientas auxiliares, EPP, protector ocular del equipo.	
Salidas	Piezas esmeriladas con rebabas eliminadas y bordes con acabado conforme, herramientas afiladas, piezas listas para ensamble u otros procesos.	

Nº	Actividad	Descripción
1	Recepción de la pieza	Recepción de la pieza metálica proveniente del otro proceso.
2	Esmerilado	Desbaste y corrección de bordes y superficies.
3	Verificación del acabado	Revisión visual del trabajo realizado.
4	Traslado de la pieza	Envío de la pieza a la siguiente área de trabajo.

En la Figura 8, se detalla la secuencia de las actividades necesarias para el desbaste y corrección de piezas metálicas, iniciando con la recepción de la pieza hasta su envío al siguiente proceso productivo. A través de este flujo se muestra de forma general como se lleva a cabo el desbaste y corrección de superficies dentro de la empresa.

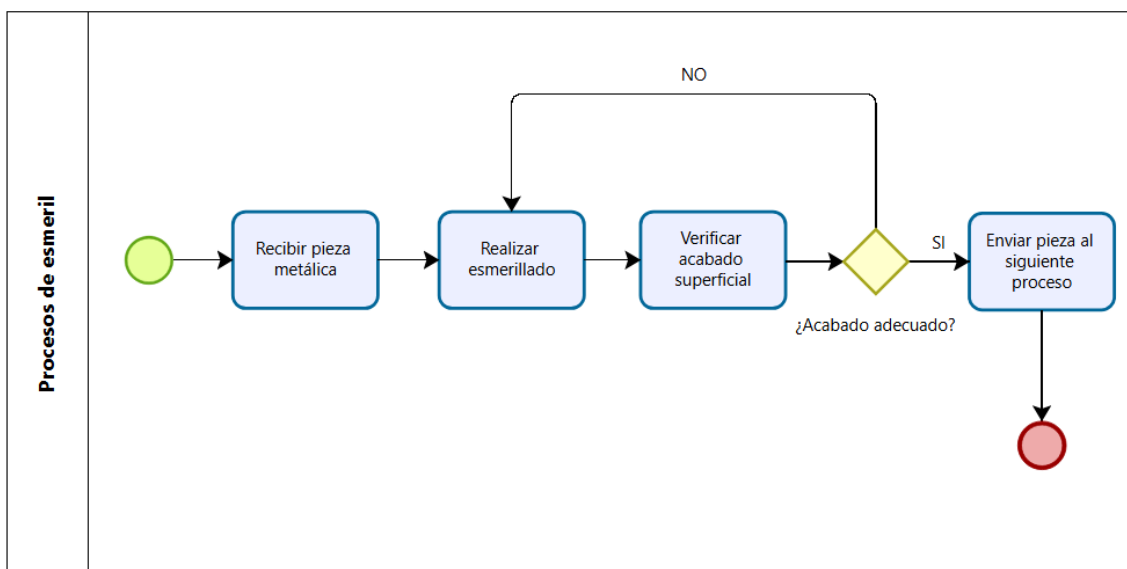


Figura 8. Diagrama de flujo de los procesos de esmeril

Proceso de ensamble

La zona de ensamble constituye un espacio de apoyo dentro del proceso productivo, destinado a la preparación, sujeción y ajuste de piezas metálicas. En este espacio se dispone de una entenalla, la cual permite mantener las piezas fijas y estables durante la ejecución de diferentes actividades, evitando desplazamiento y facilitando un trabajo más seguro y preciso.


Asimismo, la zona de ensamble sirve como apoyo para operaciones complementarias como el punteo preciso a la soldadura y ajustes con la moladora, cuando se requiere corregir posiciones o mejorar el encaje de piezas. De esta manera, se puede evidenciar en la Figura 9, que el espacio de ajuste contribuye a la correcta preparación de los elementos antes de su unión definitiva, para un mejor desenvolvimiento en los diferentes procesos productivos.



Figura 9. Zona de ensamble

En la Tabla 15, muestra las funciones que cumple la zona de ensamble como apoyo dentro de la empresa, facilitando la correcta preparación de las piezas metálicas para su posterior intervención en los diferentes procedimientos.

Tabla 15. Levantamiento de procesos: Ensamble.

	Proceso	Ensamble
	Código	PO-A-5
Objetivo	Servir como espacio de apoyo para la preparación, sujeción y ajuste de piezas metálicas durante diferentes etapas del proceso productivo.	
Entradas	Piezas metálicas provenientes de otros procesos de trabajo, orden de trabajo, plano u otras especificaciones.	
Recursos	Operario, mesa de trabajo, entenalla, herramientas manuales, herramientas de medición y trazados, EPP.	
Salidas	Piezas metálicas preparadas, alineadas y ajustadas para la continuidad en las diferentes áreas, conjunto armado preliminar.	
N°	Actividad	Descripción

1	Recepción de la pieza	Ingreso de la pieza metálica proveniente de otro proceso
2	Colocación en la mesa	Ubicación de la pieza sobre la mesa de trabajo
3	Sujeción de la pieza	Fijación mediante la entenalla para evitar desplazamientos
4	Ajustes y preparación	Realización de ajustes necesarios para facilitar trabajos posteriores
5	Apoyo a otros procesos	Uso de la mesa como soporte para soldadura, moladora u otras actividades
6	Traslado de la pieza	Envío de la pieza al siguiente proceso productivo

En la Figura 10, permite visualizar el diagrama de los procesos de ensamblaje la cual funciona como un punto de soporte dentro de la empresa, facilitando la manipulación y preparación de piezas metálicas. A través de este flujo se representan las acciones necesarias para mantener las piezas estables y listas para ser intervenidas en otras operaciones.

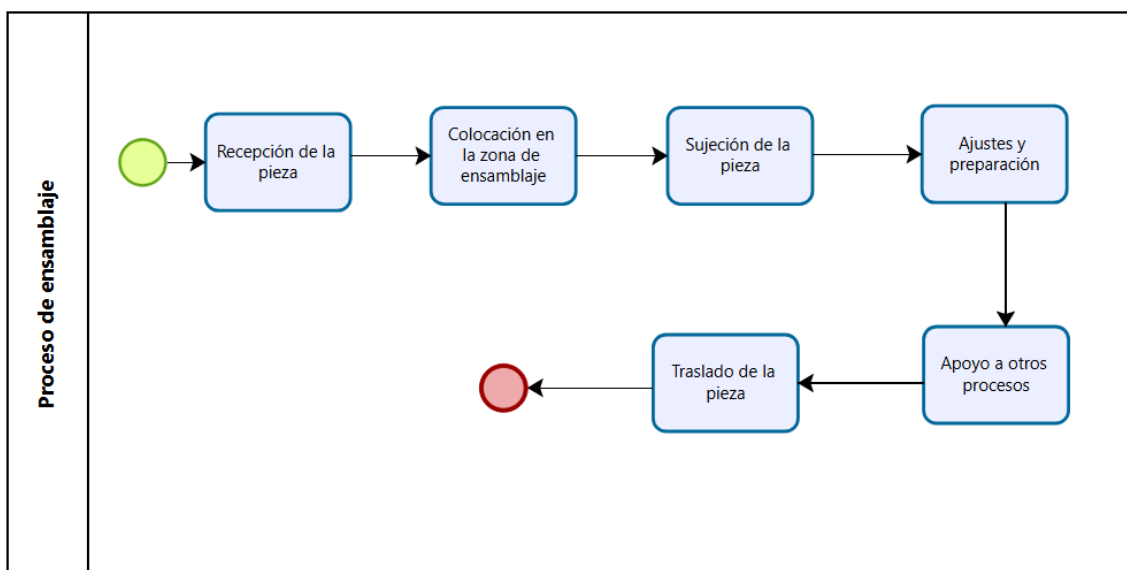


Figura 10. Diagrama de flujo de los procesos de la zona de ensamblaje

Proceso de taladro

El proceso de taladro se destina a la ejecución de operaciones de perforación en piezas metálicas, las cuales requieren precisión y estabilidad durante el proceso, En este espacio se realizan actividades como el marcado de los puntos de perforación, la correcta sujeción de las piezas y la perforación según las medidas establecidas en el trabajo solicitado.

Este proceso se lleva a cabo únicamente cuando el diseño o los requerimientos del cliente lo exigen, permitiendo que las piezas cuenten con orificios adecuados para su posterior armado, ensamble o soldadura contribuyendo así a la continuidad y correcta ejecución del proceso productivo.


En la Figura 11, se muestra el taladro industrial utilizado para realizar orificios según los requerimientos del cliente.



Figura 11. Taladro industrial de Dobladoras Cotopaxi

En la Tabla 16, se describen las actividades principales del proceso de taladro, permitiendo identificar de manera general como se realizan las operaciones de perforación dentro de la empresa.

Tabla 16. Levantamiento de procesos: Taladro

		Proceso	Taladro
		Código	PO-A-6
Objetivo	Realizar perforaciones en piezas metálicas de acuerdo con los requerimientos del trabajo, permitiendo su posterior ensamble o unión dentro del proceso productivo.		
Entrada	Piezas metálicas, requerimientos del trabajo, medidas especificadas, refrigerante, energía eléctrica.		
Recursos	Operario, taladro, brocas, herramientas de medición, martillo, mordazas, prensas o elementos de sujeción, herramientas de marcado, EPP.		
Salidas	Piezas metálicas perforadas conforme a las medidas requeridas, orificio libre de rebabas, registro de verificación.		
Nº	Actividad	Descripción	
1	Preparación de la pieza	Identificación del punto de perforación y colocación en el taladro.	
2	Uso de refrigerante	Cuida la broca, facilita una mejor manipulación del taladro	
3	Ejecución de la perforación	Perforación de la pieza según la medida requerida.	
4	Liberar y trasladar	Retiro de la pieza y envió al siguiente proceso	

En la Figura 12, representa de forma simplificada el flujo de trabajo asociado a las operaciones de perforación, mostrando las actividades esenciales para transformar la pieza metálica.

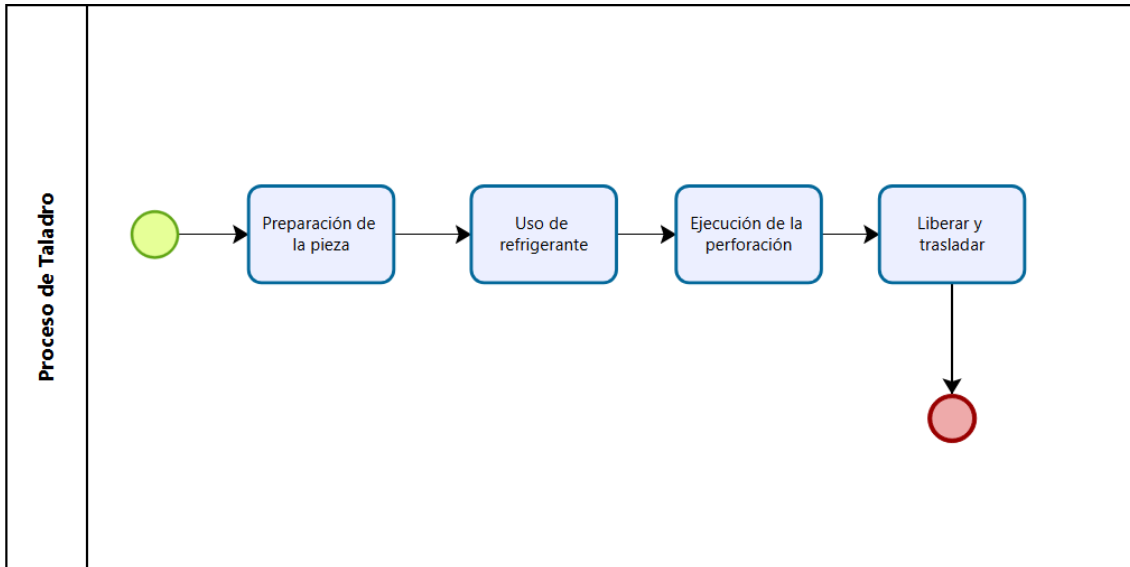


Figura 12. Diagrama de flujo de los procesos del taladro

Proceso de cepilladora

Este espacio del taller se utiliza para el mecanizado de superficies metálicas que requieren quedar rectas y uniformes. Mediante la cepilladora se realizan trabajos de nivelación y alineación, permitiendo corregir irregularidades y deformaciones presentes en las piezas antes de su armado o ensamble.

Durante este proceso, las piezas son fijadas de manera adecuada para garantizar estabilidad y precisión en el trabajo, asegurando que las superficies obtenidas cumplan con los requerimientos técnicos del proyecto. La intervención de la cepilladora resulta fundamental cuando se requiere planicidad y correcta alineación, facilitando la continuidad de los procesos productivos posteriores.


A continuación, en la Figura 13, se muestra piezas metálicas que son reparadas con ayuda de la cepilladora.



Figura 13. Reparación de piezas metálicas en la cepilladora

En la Tabla 17, presenta el conjunto de actividades que permiten transformar piezas metálicas con superficies irregulares en elementos con geometría más uniforme. A través de este proceso se identifican las acciones necesarias para asegurar la correcta sujeción, ajuste y mecanizado del material, garantizando estabilidad y precisión durante la operación, este paso aporta calidad al producto.

Tabla 17. Levantamiento de procesos: Cepillado

	Proceso	Cepilladora
	Código	PO-A-7
Objetivo	Lograr superficies metálicas rectas y uniformes mediante operaciones de desbaste controlado, permitiendo que las piezas cumplan con las condiciones necesarias para su uso o para continuidad a otro proceso productivo.	
Entrada	Piezas metálicas con superficies irregulares, orden de trabajo, requerimientos dimensionales del trabajo, fluido de corte.	
Recursos	Operario, cepilladora, herramientas de sujeción, instrumentos de medición, EPP	
Salida	Piezas metálicas con superficies planas y niveladas.	
Nº	Actividad	Descripción

1	Preparación de la pieza	Ubicación y fijación de la pieza en la máquina, asegurando su estabilidad durante la operación.
2	Ajuste del proceso	Configuración del recorrido y profundidad de corte según el trabajo requerido.
3	Cepillado de la superficie	Ejecución del desbaste para obtener una superficie recta y uniforme.
4	Retiro y traslado	Liberación de la pieza y envío al siguiente proceso productivo.

En la Figura 14. se representa el flujo del proceso de cepillado, desde su colocación hasta su traslado al siguiente proceso, este diagrama permite visualizar de manera ordenada como se realiza el ajuste y el mecanizado de la superficie.

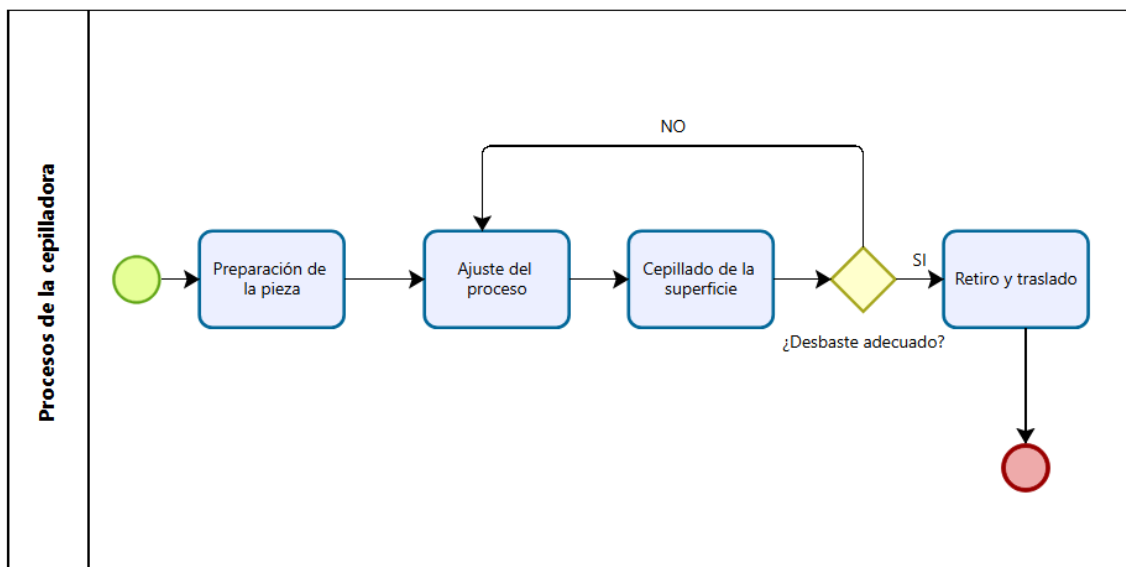


Figura 14. Diagrama de flujo de los procesos en la cepilladora

Proceso de soldadura

Este proceso de soldadura está destinado a la unión de piezas metálicas mediante la aplicación de calor y material de aporte, permitiendo obtener estructuras firmes y resistentes. En esta etapa se preparan los equipos necesarios y se posicionan las piezas

previamente armadas, asegurando que las uniones se realicen conforme a las especificaciones del trabajo solicitado.

Durante el proceso se verifica la correcta ejecución de los cordones de soldadura y se realizan ajustes cuando es necesario, con el fin de garantizar la estabilidad y calidad del producto. Esta actividad resulta clave dentro del proceso productivos, ya que consolida los elementos fabricados y permite avanzar hacia las etapas finales de acabado.


En la Figura 15, muestra el proceso de soldadura aplicado en Dobladoras Cotopaxi, garantizando la unión de piezas metálicas y calidad en el producto.



Figura 15. Unión de piezas metálicas por suelda

En la Tabla 18. se describe de manera ordenada las actividades que intervienen en la unión de piezas metálicas dentro de la empresa. En ella se identifican las etapas necesarias para preparar el área de trabajo, posicionar correctamente los materiales y ejecutar la soldadura bajo condiciones controladas.

Tabla 18. Levantamiento de procesos: Soldadura

		Proceso	Soldar
		Código	PO-A-8
Objetivo	Unir piezas metálicas mediante procesos de soldadura, garantizando la resistencia y funcionalidad requerida para su uso de los trabajos realizados en la empresa.		
Entrada	Piezas metálicas preparadas, requerimientos del trabajo, material de aporte, energía eléctrica, elementos de sujeción.		
Recursos	Operario, equipo de soldadura, zona de ensamble, elementos de sujeción, equipos de protección personal.		
Salida	Piezas metálicas unidas según del trabajo requerido, cordón continuo y limpio, pieza lista para moladora.		
Nº	Actividad	Descripción	
1	Recepción de piezas	Ingreso de las piezas provenientes de procesos previos.	
2	Preparación de área	Organización del espacio y colocación de equipos y herramientas.	
3	Posicionamiento y sujeción	Alineación de las piezas y fijación para evitar desplazamientos.	
4	Ajuste del equipo	Regulación del equipo de soldadura según el tipo de material.	
5	Ejecución de la soldadura	Aplicación del proceso de unión siguiendo los parámetros definidos.	
6	Enfriamiento y liberación	Tiempo necesario para estabilizar la unión antes de manipular la pieza.	
7	Traslado al siguiente proceso	Envío de la pieza soldada a la siguiente etapa de trabajo.	

La Figura 16, representa de manera visual y secuencial los procesos clave que se llevan a cabo en esta sección de la empresa. Este diagrama permite identificar las actividades principales de este espacio, facilitando la comprensión del flujo de trabajo y la mejora de recursos.

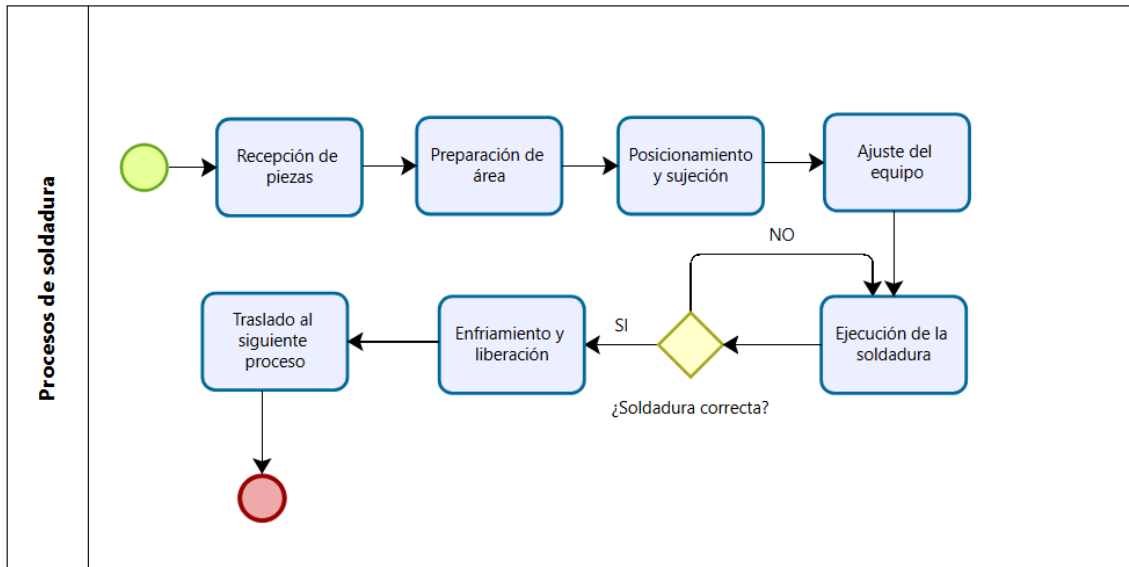


Figura 16. Diagrama de flujo de los procesos de soldadura

Proceso de moladora

En este proceso se ejecutan diversas actividades orientadas al ajuste, desbaste y acabado de piezas metálicas a lo largo del proceso productivo. La moladora permite intervenir sobre bordes, superficies y uniones, facilitando la corrección de imperfecciones generadas en etapas previas como el corte, el armado en la zona de ensamble o la soldadura. Dependiendo del disco utilizado, esta herramienta posibilita realizar trabajos de desbaste, limpieza y acabado superficial, adaptándose a las necesidades específicas de cada trabajo.

Asimismo, el uso de la moladora resulta fundamental cuando se requiere acceder a zonas de difícil alcance o realizar ajustes finales que no pueden ejecutarse en equipos fijos. Su aplicación contribuye a mejorar el encaje entre piezas, mejorar la calidad del producto y preparar las superficies antes de procesos posteriores, además esta herramienta se emplea como un apoyo sobre la mesa de trabajo contribuyendo la calidad del producto garantizando así la satisfacción del cliente.


En la Figura 17, se muestra el proceso de la moladora orientada al desbaste de piezas metálicas para una mejor calidad del producto.



Figura 17. Desbaste de imperfecciones a las piezas metálicas con moladora

En la Tabla 19, muestra el levantamiento de procesos del área de moladora manual, detallando las actividades clave desde la recepción e inspección de la pieza, hasta la entrega al siguiente proceso.

Tabla 19. Levantamiento de procesos: Moladora

	Proceso	Moladora
	Código	PO-A-9
Objetivo	Realizar el ajuste y acabado superficial de piezas metálicas mediante desbaste localizado y limpieza de cordones de soldadura, garantizando un nivel de terminación acorde a especificaciones y condiciones seguras de operación	
Entrada	Pieza metálica (con rebaba, cordón de soldadura o zonas a corregir), orden de trabajo, plano o especificación, energía eléctrica, consumibles (discos)	
Recursos	Operario, moladora, discos, llave de ajuste, guarda de seguridad, tornillo de banco, instrumentos de verificación, cepillo metálico, EPP.	
Salida	Pieza ajustada y con acabado requerido, rebabas eliminadas, superficie lista para el siguiente proceso.	

N°	Actividad	Descripción
1	Recepción de la pieza	Se recibe la pieza y se identifica la orden de trabajo o requerimiento de acabado
2	Inspección inicial	Se revisan las zonas críticas, cordones de soldadura, rebabas, deformaciones y puntos de acceso complejo
3	Definición del tipo de intervención	Se determina si se requiere desbaste, limpieza o acabado superficial
4	Selección de disco y verificación técnica	Se elige el disco adecuado según lo que requiera la pieza metálica y se valida su estado
5	Preparación de seguridad	Colocación de EPP, verificación de cableado y postura de trabajo.
6	Sujeción de la pieza	Se fija la pieza para evitar vibración, desplazamientos o accidentes.
7	Prueba de funcionamiento	Encendido breve en vacío para conformar estabilidad del disco y ausencia de vibración anormal
8	Desbaste/corrección localizada	Se ejecuta el desbaste controlado en las zonas definidas, evitando sobrecalentamiento y pérdida de material excesiva
9	Acabado superficial	Se realiza el acabado con disco flap para homogenizar la superficie y reducir marcas
10	Verificación dimensional y visual	Se verifica alineación y se inspecciona el acabado
11	Limpieza final	Retiro de partículas metálicas o polvo
12	Entrega al siguiente proceso	Se entrega la pieza al siguiente proceso

En la Figura 18, muestra la secuencia de trabajo para ajuste y acabado de piezas metálicas mediante moladora manual, incorporando actividades de preparación operativa y control de calidad, con un punto de decisión para gestionar la conformidad del acabado, hasta la entrega de la pieza al siguiente proceso.

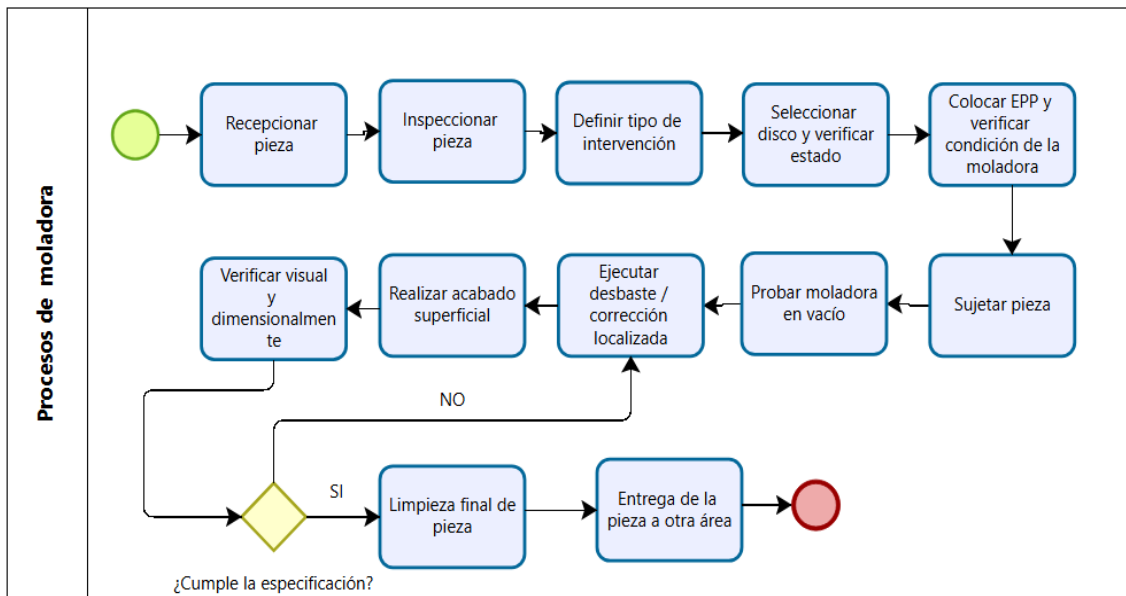


Figura 18. Diagrama de flujo de los procesos de la moladora

Proceso de pintura

En esta etapa del proceso productivos se realiza la aplicación de recubrimientos sobre las piezas metálicas con el objetivo de protegerlas y mejorar su presentación. Previo a la aplicación de la pintura, las superficies son limpiadas para eliminar residuos, polvo o impurezas que puedan afectar la adherencia del material.

La pintura se aplica de acuerdo con los requerimientos del trabajo solicitado, permitiendo obtener un acabado uniforme y contribuyendo a la protección del material frente a la corrosión y el desgaste. Esta actividad se ejecuta una vez finalizados los procesos principales del taller, garantizando que las piezas se encuentren en condiciones adecuadas para su entrega.


En la Figura 19, se observa un compresor de aire utilizado en el proceso de pintura, empleado como equipo de apoyo en operaciones como limpieza de superficie y acabados finales.



Figura 19. Compresor de aire para el proceso de pintura

En la Tabla 20, se muestra el levantamiento de proceso del área de pintura, detallando cada una de las operaciones realizadas desde la recepción de la pieza hasta la entrega final o paso a otro proceso.

Tabla 20. Levantamiento de procesos: Pintura

		Proceso	Pintura
		Código	PO-A-10
Objetivo	Aplicar un recubrimiento de pintura uniforme y adherente sobre piezas metálicas, con finalidad protectora, anticorrosiva y estética, asegurando el secado y el cumplimiento de criterios de calidad antes de la entrega.		
Entrada	Piezas metálicas lista para pintura, orden de trabajo, pintura, diluyente, energía eléctrica y aire comprimido, insumos de limpieza.		
Recursos	Operario, espacio controlado, pistola de pintura y compresor, recipientes de mezcla, soportes, EPP.		
Salida	Piezas pintadas con recubrimiento uniforme y acabado conforme, piezas secas y listas para embalaje.		
N°	Actividad	Descripción	

1	Recepción y verificación	Se recibe la pieza y se confirma especificación
2	Preparación de la superficie	Limpieza, desengrase de la pieza metálica
3	Enmascarado	Se protegen zonas que no deben pintarse
4	Preparación de la pintura y equipo	Mezcla, dilución y ajuste del equipo de aplicación
5	Aplicación de recubrimiento	Aplicación uniforme una o más manos según la especificación
6	Secado Final	Se deja secar según especificación de recubrimiento
7	Inspección de calidad	Revisión del acabado, retoque si aplica
8	Liberación o entrega al siguiente destino	Se libera para embalaje/despacho o entrega al cliente

La Figura 20, muestra el diagrama de flujo del recubrimiento final, integrando preparación de superficie, preparación del material y aplicación, seguido de secado y una decisión de conformidad del acabado que permite ejecutar retoques si es necesario, hasta liberar la pieza para despacho o entrega.

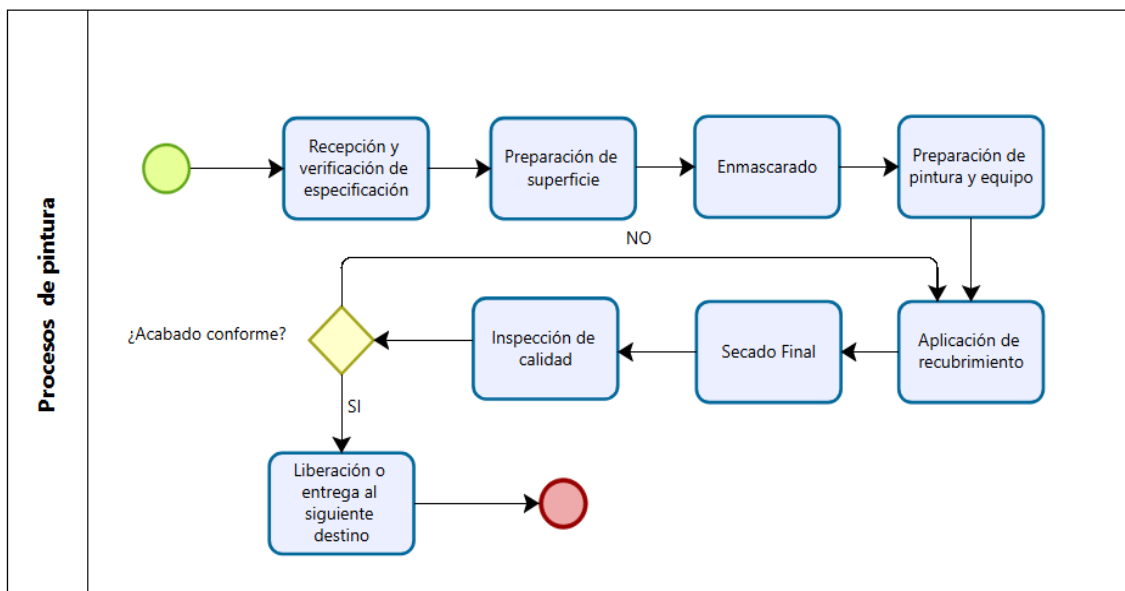


Figura 20. Diagrama de flujo de los procesos de pintura

. Proceso de entrega de producto final


Es un proceso mediante el cual la empresa organiza y ejecuta la salida del producto terminado hacia el cliente, asegurando el cierre correcto del pedido. Inicia con la coordinación de la entrega y la verificación de que el producto corresponda a lo solicitado y se encuentre en condiciones adecuadas. Posteriormente, el producto se prepara para despacho, se registra su salida en el control interno y se realiza la entrega al cliente, ya sea mediante retiro en la empresa o transporte acordado. En la Figura 21, se muestra el producto final acabado cumpliendo con los requisitos del cliente y listo para entregarlo.



Figura 21. Producto final para entrega al cliente

A continuación, en la Tabla 21, se detalla el levantamiento de procesos de la entrega de producto final, asegurando la conformidad de los clientes en cada producto entregado.

Tabla 21. Levantamiento de procesos: Entrega de producto terminado

		Proceso	Entrega final
		Código	PO-A-11
Objetivo	Entregar el producto final al cliente asegurando que se cumpla con lo solicitado, registrando la salida y confirmando la recepción para cerrar el pedido.		
Entradas	Producto terminado, Orden de trabajo, datos del cliente, documentos de facturación.		
Recursos	Personal de la empresa, herramientas, espacio de entrega.		
Salidas	Producto entregado al cliente, registros de salida y entrega.		
Nº	Actividad	Descripción	
1	Confirmar entrega con el cliente	Se coordina fecha y hora de entrega y se verifica el pedido a entregar.	
2	Revisar producto final	Se comprueba que el producto este completo, conforme y en buen estado para su entrega.	
3	Preparar para despacho	Se empaca o protege el producto (si aplica) y se adjuntan documentos necesarios.	
4	Registrar la salida	Se registra la salida del producto en el control interno	
5	Entregar el producto	Se realiza la entrega al cliente.	
6	Confirmar recibido y cerrar entrega.	Se obtiene confirmación de recepción y se entrega el pedido.	

En la Figura 22, se presenta el diagrama de flujo del proceso correspondiente a la entrega del producto final al cliente, en el cual se describe de manera secuencial y ordenada las actividades realizadas desde la coordinación de entrega con el cliente hasta el

recibimiento del producto, garantizando el cumplimiento de los requerimientos establecidos.

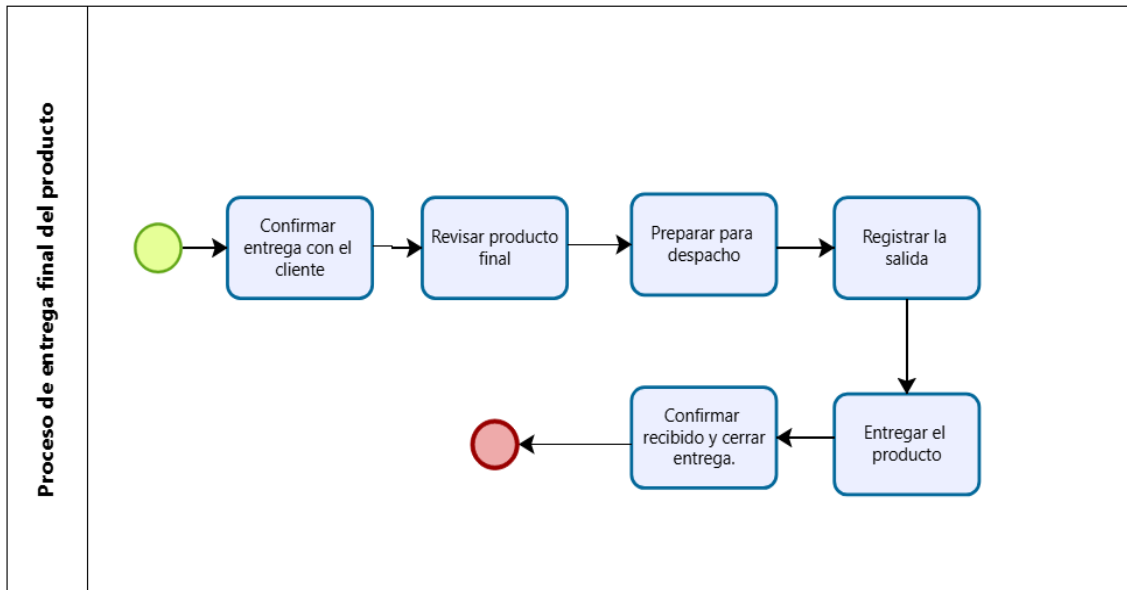


Figura 22. Diagrama de flujo de procesos de la entrega final del producto

El levantamiento de procesos se realizó de manera general debido a las características operativas de Dobladoras Cotopaxi. La empresa no trabaja con un solo producto ni mantiene una línea de producción fija; por el contrario, fabrica piezas con diferentes dimensiones, geometrías según el requerimiento del cliente, lo que provoca que cada orden de trabajo siga rutas variables dentro de la empresa.

En este contexto, intentar levantar solo un proceso general como si toda la empresa fabricara un único producto generaría un modelo poco representativo y difícil de sostener, obligaría a incluir múltiples excepciones, divisiones y rutas alternativas, volviendo el diagrama excesivamente complejo y poco útil para la toma de decisiones.


La decisión metodológica de levantar procesos por áreas responde a un enfoque de mapeo modular, donde cada área se describe como un bloque operativo relativamente estable, independiente del producto final. Este enfoque permite capturar de manera clara como trabaja cada estación o centro de trabajo, cuales son sus requerimientos, riesgos y criterios de calidad, y de qué manera se integran con otras áreas. Además, facilita la gestión, porque permite establecer de manera más directa criterios de control de calidad, orden operativo y puntos de verificación en cada etapa, sin depender de un producto específico.

Gestión de materiales y consumibles

Se prioriza el levantamiento del proceso de apoyo gestión de materiales y consumibles debido a que constituye un componente crítico para la disponibilidad inmediata de insumos requeridos en la operación diaria. Aunque no forma parte del proceso de transformación del producto, su desempeño influye directamente en la continuidad del trabajo, ya que integra actividades de recepción, almacenamiento, control, entrega interna y reposición. Cuando estas actividades presentan variabilidad, se incrementan los tiempos destinados a solicitar, localizar y disponer consumibles, generando interrupciones antes o durante la ejecución de las tareas productivas.

En este sentido, el levantamiento detallado en la Tabla 22, permite comprender el funcionamiento real del abastecimiento interno y delimitar los puntos de control donde se originan demoras asociadas al acceso de materiales. De esta manera, se establece una base técnica para identificar oportunidades de mejora orientadas a reducir desplazamientos innecesarios, tiempo de búsqueda y esperas, asegurando que los procesos operativos puedan ejecutarse con mayor estabilidad y menor variación en sus tiempos.

Tabla 22. Levantamiento de proceso de apoyo: Gestión de materiales y consumibles

		Proceso	Gestión de materiales y consumibles
		Código	PA-1
Objetivo	Asegurar la disponibilidad y control de materiales y consumibles mediante su recepción, almacenamiento, registro, entrega y reposición, para garantizar continuidad en las actividades operativas.		
Entrada	Requerimiento interno de consumibles, materiales y consumibles entregado por proveedores, inventario existente en bodega,		
Recursos	Personal operativo responsable de bodega, producción y gerencia, infraestructura, herramientas.		
Salida	Material y consumible entregado a producción.		
N°	Actividad	Descripción	

1	Recepción de materiales	Se recibe el material/ consumible que ingresa a la empresa y se coloca en la zona destinada
2	Organización y almacenamiento	Se ubican los consumibles en estanterías o zonas definidas.
3	Registrar ingreso	Se registra la entrada del material en el control interno
4	Identificación de necesidad en producción	Durante la operación, el operario identifica que requiere de un consumible
5	Desplazamiento a bodega	El operario se traslada desde su área de trabajo hacia la bodega para verificar disponibilidad
6	Verificación y búsqueda de consumible	Se revisa si existe stock suficiente y busca el consumible requerido
7	Disponibilidad y localización	Se determina si el insumo está disponible y puede localizarse.
8	Retiro del consumible	Si se localiza el operario retira la cantidad necesaria.
9	Retorno a producción	El operario retorna al área de trabajo con el insumo para continuar la tarea
10	Gestión de reposición	Se coordina la compra o reposición con proveedor según decisión de gerencia.

La Figura 23, representa la secuencia desde la identificación de la necesidad en producción y el desplazamiento del operario hacia bodega para verificar y localizar el insumo, hasta el retiro y retorno al área de trabajo, incluyendo la reposición del material si es necesario.

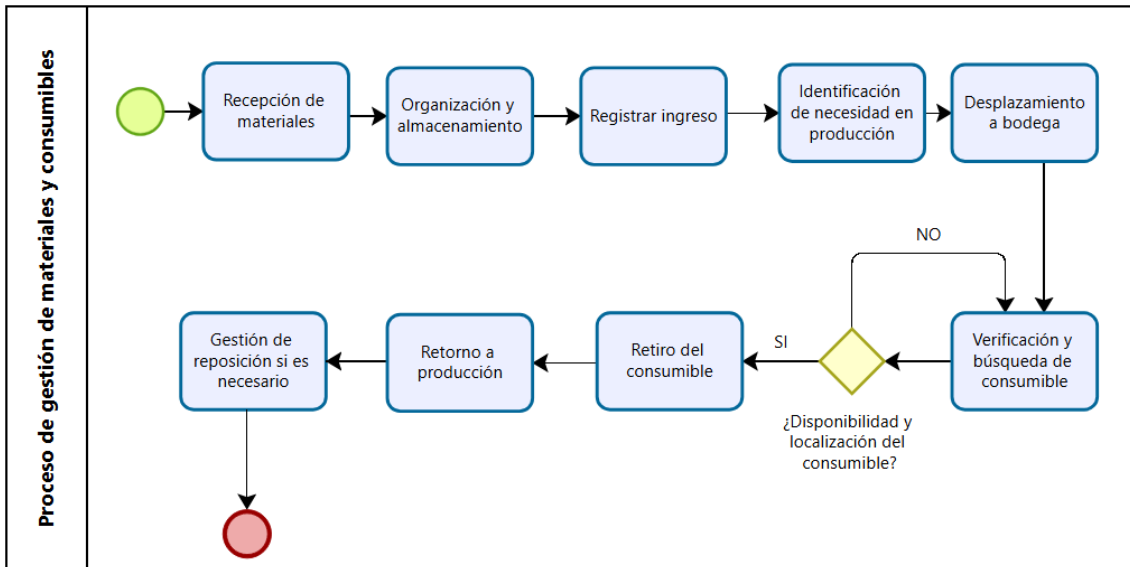


Figura 23. Diagrama de flujo de proceso de gestión de materiales y consumibles.

Con base en el registro de observación Tabla 6 y su resumen por operario Tabla 7, se evidencia que una proporción relevante del tiempo improductivo se concentra en actividades asociadas al abastecimiento interno. En 18 eventos observados, se registró un 33,3% de casos en los que el consumible no fue encontrado, lo que incremento el tiempo total del evento respecto a los casos en los que si se encontró. Este comportamiento se refleja también por operario, observándose variabilidad en la recurrencia de no encontrado, lo que sugiere que el problema no es aleatorio, sino consiste con fallas de disponibilidad y ubicación del inventario.

En este sentido, aunque la gestión de materiales y consumibles se clasifica como proceso de apoyo, se lo levanta y analiza de manera prioritaria porque constituye la entrada directa para los procesos operativos, si el consumible no está disponible o no puede ubicarse con rapidez, lo operación en el torno, corte, soldadura entre otros, se detiene antes de ejecutarse, generando tiempos muertos que no dependen del desempeño técnico de la máquina, si no del abastecimiento. Por ello, se evidencia que los procesos operativos no presentan el origen del problema, si no que las demoras observadas se explican por ineficiencias en la gestión de consumibles, justificando además su abordaje como base para el análisis ABC, dado que la criticidad y el impacto en la continuidad productiva dependen de la disponibilidad de los consumibles.

5.1.5. Identificación de ineficiencias en el proceso

Con el propósito de analizar el desempeño del proceso de gestión de consumibles dentro de la bodega de la empresa Dobladoras Cotopaxi, se realizó la identificación de las principales ineficiencias presentes en las actividades de búsqueda, verificación, localización y entrega de insumos. Este análisis permitió reconocer los puntos críticos del proceso actual y justificar técnicamente la necesidad de una solución orientada a mejorar la visibilidad y disponibilidad de los materiales.

La evidencia obtenida mostro que una parte importante del tiempo improductivos se concentra en las actividades de búsqueda manual, verificación física de existencias y localización de consumibles dentro de la bodega, especialmente cuando el material no se encuentra en la ubicación esperada o cuando no existe información inmediata sobre su disponibilidad.

5.1.5.1.Método utilizado para la identificación de ineficiencias

La identificación de ineficiencias se efectuó mediante la aplicación conjunta de observación directa, levantamiento del flujo del proceso y la toma de tiempos durante las actividades de búsqueda de consumibles en bodega.

La observación directa permitió registrar el comportamiento real del proceso evidenciando la secuencia de actividades ejecutadas por el personal y las dificultades que se presentan durante la localización de materiales. El levantamiento del flujo del proceso facilito la representación ordenada de las actividades involucradas en la gestión de consumibles, permitió identificar puntos críticos dentro del abastecimiento interno. Por su parte, la toma de tiempos permitió medir el tiempo empleado por el operario para localizar los insumos requeridos y establecer diferencias entre situaciones entre situaciones en las que el material se encuentra de forma inmediata y aquellas en las que la búsqueda se prolonga por falta de disponibilidad o desorganización del almacenamiento.

En particular, se observó que el personal debe desplazarse hacia la bodega ubicada en el segundo piso para comprobar manualmente la existencia de los consumibles. Cuando el material no se encuentra en el lugar esperado, el tiempo operativo se incrementan y se generan demoras que afectan el desarrollo de las actividades posteriores.

5.1.5.2. Criterios para la identificación de ineficiencias operativas

La identificación de ineficiencias del proceso de abastecimiento de consumibles se realizó mediante observación directa y medición de tiempos durante la ejecución real de las actividades en bodega, para ello se analizó el recorrido efectuado por el operario desde su área de trabajo hasta el lugar de almacenamiento y su retorno, considerando el tiempo empleado, la disponibilidad del consumible requerido y las condiciones en las que se desarrolló la búsqueda.

Para efectos de esta investigación se consideró ineficiencia operativa a toda actividad, condición o evento que incrementa el tiempo del proceso sin aportar valor a la operación productiva, provoca interrupciones en la continuidad del trabajo o genera desplazamientos innecesarios. Bajo este criterio se identificó como ineficiencias la prolongación del tiempo de búsqueda, la ausencia del consumible en el punto esperado, la necesidad de realizar recorridos adicionales, la falla de identificación de materiales y la organización no estandarizada dentro de la bodega.

La justificación de estas ineficiencias se estableció a partir de la comparación de los tiempos registrados en diferentes eventos de abastecimiento. Este análisis permitió distinguir los casos en los que el consumible fue localizado de forma inmediata de aquellos en los que el operario requirió mayor tiempo debido a desorden, mala ubicación, falta de rotulación o inexistencia del insumo en stock, de este modo, la identificación de las ineficiencias se sustentó en evidencia levantada en campo y no únicamente en apreciaciones generales del proceso.

Asimismo, se tomó en cuenta el efecto de cada hallazgo sobre la operación, especialmente en relación con la generación de tiempo muerto, la interrupción de actividades productivas y la variabilidad en la duración del abastecimiento. Esto permitió establecer con mayor precisión cuales eran los puntos críticos del proceso actual y a partir de ello orientar la propuesta de mejora hacia las causas que afecten de forma directa la eficiencia operativa.

Tabla 23. Hallazgos

Hallazgo observado	Criterio técnico aplicado	Justificación
Tiempo prolongado en la búsqueda del consumibles	Incremento del tiempo sin valor agregado	El operario destina tiempo a localizar el material sin

		ejecutar una actividad directamente productiva
Consumible no son encontrado en el lugar esperado	Interrupción de la continuidad operativa	La actividad se retrasa o se detiene debido a la falta de disponibilidad inmediata del insumo
Recorridos adicionales dentro de la bodega	Desplazamiento innecesario	El operario debe movilizarse a otros puntos para completar una tarea que debía resolver en una sola ubicación
Falta de identificación o rotulación de materiales	Dificultad en la localización rápida	La ausencia de señalización incrementa el tiempo requerido para reconocer y ubicar el consumibles
Organización no estandarizada de los insumos	Variabilidad en el tiempo del proceso	La ubicación de los materiales genera diferencias en la duración de la búsqueda
Búsqueda fallida por falta de stock visibles	Ausencia de control inmediato del inventario	El operario realiza el desplazamiento sin contar con información precisa y rápida sobre la disponibilidad real del consumible

5.1.5.3. Criterios de clasificación del nivel de afectación

Con el fin de priorizar las ineficiencias detectada se empleó una clasificación cualitativa de tres niveles: alto, medio y bajo. Esta valoración se estableció con base en tres criterios: frecuencia de ocurrencia, impacto sobre la continuidad operativa y nivel de generación de tiempos improductivos.

A continuación, en la Tabla 24, se muestra los criterios con los que se clasificaron los niveles de afectación.

Tabla 24. Criterios de clasificación del nivel de afectación

Nivel de afectación	Criterio de clasificación	Descripción
---------------------	---------------------------	-------------

Alto	Alta frecuencia Alta interrupción operativa Alto tiempo improductivo	Corresponde a ineficiencias que ocurren de manera recurrente, afectan directamente la continuidad del proceso y generan tiempos muertos significativos
Medio	Frecuencia moderada Afectación parcial Retraso controlable	Corresponde a ineficiencias que no defienden completamente la operación, pero si provocan demoras, reprocesos o desplazamientos adicionales
Bajo	Baja frecuencia Impacto limitado Mínima afectación del flujo	Corresponde a ineficiencias ocasionales cuya incidencia en el proceso es menos y no compromete significativamente la continuidad operativa.

5.1.5.4. Lista de las principales ineficiencias en el proceso

Con base en el registro de observación, el levantamiento del flujo del proceso y el análisis de los eventos asociados al abastecimiento interno, se identificaron las principales ineficiencias presentes en la gestión de materiales y consumibles de la empresa Dobladoras Cotopaxi. La evidencia obtenida permitió establecer que una proporción significativa del tiempo improductivo se concentra en actividades de búsqueda, verificación de disponibilidad y localización de insumos, evidenciándose que los consumibles requeridos no fueron encontrados, incrementando el tiempo total del evento respecto de los casos en los que sí estuvo disponible.

Aunque la gestión de materiales y consumibles corresponde a un proceso de apoyo, su análisis resulta prioritario debido a que constituye una entrada directa para la ejecución de los procesos operativos. Cuando el consumible no está disponible o no puede localizarse con rapidez las actividades de torno, corte, soldadura y demás operaciones se detienen antes de ejecutarse generando tiempos improductivos que no dependen del desempeño técnico de la máquina, sino de deficiencias en el abastecimiento interno. .

A continuación, en la Tabla 25, se presenta la clasificación cualitativa de las principales ineficiencias identificadas en el proceso de gestión de materiales y consumibles. La valoración se realizó considerando la frecuencia de ocurrencia de cada problema, su

impacto sobre la continuidad operativa y su incidencia en la generación de tiempo improductivos dentro del proceso.

Tabla 25. Clasificación cualitativa de las principales ineficiencias según su nivel de afectación operativa

Ineficiencia identificada	Nivel de afectación	Justificación
Tiempos muertos por búsqueda y localización de consumibles.	Alto	Se considera de nivel alto debido a que afecta de manera directa la continuidad operativa ya que el operario detiene su actividad para desplazarse, verificar disponibilidad y buscar el insumo requerido. Esta ineficiencia está asociada la falta de ubicación estandarizada a la desorganización física de la bodega y a la incertidumbre sobre el stock disponible.
Reprocesos por falta de preparación adecuada antes de la operación	Medio	Se clasifica como nivel medio porque genera repetición parcial de actividades y corrección de errores antes o durante la ejecución del trabajo. Su impacto es relevante, aunque no necesariamente se presenta en todos los eventos observados ni detiene completamente la operación la operación en todos los casos.
Cambios de herramienta	Medio	Se ubica en nivel medio debido a que produce interrupciones cortas pero frecuentes durante la jornada. Aunque cada evento puede representar una afectación limitada, su acumulación genera pérdidas de tiempo y desplazamientos adicionales entre áreas de trabajo.
Desorden en bodega y falta de rotulación	Alto	Se clasifica como alto porque dificulta de forma directa la localización rápida de consumibles incrementa la probabilidad de confusión, entregas equivocadas y prolongación del tiempo de búsqueda. Además, constituye una de las causas estructuradas del problema de abastecimiento interno.
Consumo excesivo de consumibles por mala práctica	Medio	Se considera de nivel medio porque incrementa la reposición de insumos y afecta el costo operativo, aunque su repercusión sobre la continuidad inmediata del proceso es indirecta en comparación con otras ineficiencias relacionadas con la disponibilidad física del material.

Consumo no trazable por área de trabajo	Medio	Se clasifica como medio ya que impide identificar con precisión los centros de mayor consumo las causas de sobreuso y los focos de desperdicio. Aunque no siempre interrumpe de manera inmediata la operación limita la capacidad de control y planificación del abastecimiento.
Falta de control rápido de stock	Alto	Se considera de nivel alto debido a que impide conocer con inmediatez la existencia real de consumibles en bodega, generando incertidumbre, faltantes inesperados y retrasos en la atención de requerimientos internos. Esta ineficiencia afecta directamente la disponibilidad oportuna del insumo para la producción.

Los resultados expuestos permiten evidenciar que las ineficiencias con mayor nivel de afectación operativa se concentran en la búsqueda y localización de consumibles el desorden físico de la bodega y la falta de control rápido del stock, debido a que estas condiciones inciden directamente en la detención de las actividades productivas y en la generación de tiempos muertos. En conjunto, estos hallazgos confirman que las principales demoras del proceso no se originan en las operaciones en si mismos, si no en deficiencias del proceso de apoyo relacionado con la gestión de consumibles, lo cual justifica el diseño de una solución orientada a mejorar la visibilidad, ubicación y disponibilidad del inventario en tiempo real.

5.1.5.5.Relación entre la toma de tiempos y las ineficiencias identificadas

La toma de tiempos permitió respaldar cuantitativamente las ineficiencias observadas en el proceso. A partir de esta medición fue posible evidenciar que el tiempo requerido para localizar determinados consumibles se incrementan cuando no existe información inmediata sobre su disponibilidad cuando el material no se encuentra en la ubicación esperada o cuando el operario debe realizar búsquedas sucesivas dentro de la bodega.

Las actividades clasificadas con nivel alto de afectación coinciden con aquellas que generaron mayor tiempo improductivo y mayor interrupción sobre la continuidad operativa. De forma complementaria, las ineficiencias de nivel medio reflejan problemas que, aunque no detienen totalmente la operación generan demoras acumulativas y afectan el flujo normal del trabajo.

5.1.5.6. Mejoras esperadas a partir del sistema propuesto

Con base en las ineficiencias e identificadas, el sistema inteligente propuesto busca mejorar el desempeño del proceso mediante la visualización digital del inventario permitiendo conocer en tiempo real la disponibilidad de consumibles. Esta mejora reduce la necesidad de verificaciones manuales, disminuye el tiempo de búsqueda de materiales y fortalece el control del stock dentro de la bodega.

Entre las principales mejoras que se espera de la implementación de este sistema se encuentran la reducción de tiempos de localización, el acceso inmediato a la información del inventario y un mayor control de consumibles, contribuyendo así a mejorar las actividades operativas relacionadas con la gestión de materiales.

5.1.6. Análisis ABC

El análisis ABC constituye una herramienta clave para la gestión de inventarios, ya que permite clasificar los materiales y consumibles según su relevancia económica dentro del consumo anual de la empresa. En entornos industriales con alta rotación de insumos, como Dobladoras Cotopaxi, este procedimiento facilita identificar con precisión cuales productos concentran la mayor proporción del gasto operativo, orientando así el control y la planificación de abastecimiento hacia elementos que realmente determinan la continuidad del proceso productivo.

Para la aplicación del método, se recopiló información de los consumibles almacenados en la bodega, considerando su consumo anual estimado y su costo unitario, con el fin de calcular el valor de consumo anual de cada ítem. Posteriormente, los insumos fueron ordenados de mayor a menor impacto económico y se determinó su porcentaje individual y acumulado sobre el total, permitiendo clasificarlo en tres categorías: A (alto valor), B (valor medio) y C (bajo valor). Esta segmentación posibilita priorizar la supervisión de stock, la frecuencia de reposición y las estrategias de control interno, evitando tanto desabastecimiento de materiales críticos como la acumulación innecesaria de insumos de bajo impacto.

En el caso de Dobladoras Cotopaxi, el análisis ABC se orientó a reconocer los consumibles críticos de mayor rotación y relevancia operativa, debido a que la empresa depende intensamente de insumos vinculados a procesos de corte, soldadura y acabados metálicos. En particular, la categoría A agrupa un porcentaje reducido de ítems que concentra la mayor parte de valor total anual de reposición, por lo cual estos productos

representan un punto estratégico para la eficiencia de la organización. Su falta genera consecuencias directas en la productividad, retrasos en entregas y aumento de costos por paradas operativas o compras emergentes.

Adicionalmente, este análisis aporta una base técnica para la mejora de la administración de inventarios, al permitir definir políticas diferenciadas de control, mayor seguimiento y niveles de seguridad para insumos A, control periódico para B y control básico para C. La clasificación obtenida permitió priorizar las consumibles clases A como base para el desarrollo del prototipo de monitoreo inteligente en tiempo real, dado que su impacto económico y su criticidad operativa justifican el uso de tecnologías de control automatizado.

A continuación, se presenta en la Tabla 26 el detalle del análisis ABC aplicado a los consumibles de la bodega de Dobladoras Cotopaxi, el cual sustenta la relevancia de estos en la empresa.

Tabla 26. Análisis ABC de consumibles en Dobladoras Cotopaxi

Consumibles	Cantidad anual	Costo unitario	Volumen dinero	Porcentaje de participación	Porcentaje de participación acumulada	Clasificación
Electrodos E308-L	150	21,32	3198,00	31,55%	31,55%	A
Disco de pulir pequeño	100	18,50	1850,00	18,25%	49,80%	A
Disco de corte	200	6,00	1200,00	11,84%	61,63%	A
Disco de pulir de acero inoxidable	90	8,00	720,00	7,10%	68,74%	A
Disco Flap	120	7,00	840,00	8,29%	77,02%	A
Cepillo de acero inoxidable	60	8,50	510,00	5,03%	82,05%	B
Tornillos de acero inoxidable	300	1,12	336,00	3,31%	85,37%	B
Lijas para metal (Paquete)	100	3,00	300,00	2,96%	88,33%	B
Boquillas/Difusores antorcha TIG	30	10,00	300,00	2,96%	91,29%	B

Remaches de acero inoxidable	300	0,90	270,00	2,66%	93,95%	B
Paños de microfibra	100	2,50	250,00	2,47%	96,41%	C
Limpiador con ácido nítrico	10	10,29	102,90	1,02%	97,43%	C
Bisagras de acero inoxidable	80	1,15	92,00	0,91%	98,34%	C
Abrazaderas metálicas	200	0,30	60,00	0,59%	98,93%	C
Espuma de poliuretano	12	4,59	55,08	0,54%	99,47%	C
Cinta de teflón para GLP	50	0,77	38,50	0,38%	99,85%	C
Tiza industrial	30	0,50	15,00	0,15%	100,00%	C
			10137,48	100,00%		

La Tabla 26 muestra el análisis ABC de consumibles de la bodega en Dobladoras Cotopaxi, se observa una alta concentración de valor del consumo anual, lo cual confirma la utilidad del método para priorizar control y monitoreo.

Interpretación:

De acuerdo con la Tabla 26 en términos cuantitativos, la clase A está conformada por cinco consumibles y concentra el 77,02% del valor anual del consumo. En esta categoría se ubican principalmente insumos directamente ligados a las operaciones núcleo de la empresa como son los electrodos E308-L y consumibles abrasivos para corte y acabado. Esto implica que, aunque sean pocos ítems, su disponibilidad determina la continuidad productiva; cualquier quiebre de stock en estos consumibles puede traducirse en paradas operativas, incremento de retrabajos y retrasos en entregas.

La clase B agrupa cinco ítems adicionales y eleva el acumulado hasta el 93,89%, aquí se encuentran consumibles de soporte técnico relevante. Si bien su impacto económico es menor que los de categoría A, siguen siendo materiales con incidencia en la productividad y la calidad, por lo que conviene gestionarlos con control periódico y reposición planificada.

Finalmente, la clase C comprende los ítems que en conjunto representan solo el 6,11% del valor anual. Estos corresponden a materiales auxiliares y aunque no generan presión

económica significativa, su control básico es importante para evitar pérdidas por desorden, compras duplicadas y problemas de trazabilidad.

Este análisis evidencia que la gestión del inventario debe enfocarse de manera diferenciada al control estricto y monitoreo continuo de los consumibles de la categoría A dado a su impacto y criticidad, al control programado de la categoría B y el control simplificado de la categoría C.

5.2.OBJETIVO 2

5.2.1. Selección de sensores de peso y componentes IoT adecuados

El diseño de la arquitectura tecnológica del sistema inteligente de inventario constituye una fase fundamental del presente proyecto ya que define la estructura lógica y funcional que permite la integración coherente de los componentes de adquisición de datos, comunicación y visualización necesarios para la gestión eficiente de bodegas en la empresa Dobladoras Cotopaxi. Esta arquitectura fue concebida bajo un enfoque modular, escalable y alineado con los principios de la industria 4.0, garantizando la interoperabilidad entre hardware, software y el usuario final, sin depender de configuraciones físicas específicas en esta etapa del desarrollo.

En primer lugar, se establecieron los criterios para la selección de los dispositivos de adquisición de datos y componentes IoT, considerando aspectos técnicos como precisión, confiabilidad de medición, capacidad de procesamiento, compatibilidad tecnológica y disponibilidad comercial.

A nivel arquitectónico, se definió el uso de sensores de peso acoplados a módulos HX711 de acondicionamiento de señal cuya función es transformar las variaciones físicas de carga en señales digitales interpretables por el sistema. Estas señales son gestionadas por un microcontrolador ESP32 seleccionado por su capacidad de procesamiento, conectividad Wi-Fi integrada y facilidad de programación, lo que lo convierte en un dispositivo idóneo para aplicaciones de monitoreo en tiempo real.

Posteriormente, se diseñó la arquitectura de comunicación de datos mediante el protocolo MQTT, el cual permite la transmisión eficiente de información en entornos industriales con recursos limitados. La arquitectura define al ESP32 como publicador de datos, enviando periódicamente las unidades disponibles de cada consumible a un bróker MQTT. A su vez la aplicación desarrollada en Unity funciona como suscriptor, recibiendo

dicha información para su procesamiento y visualización. Este modelo de comunicación desacoplado permite una baja latencia, facilita la escalabilidad del sistema y posibilita la incorporación de nuevos sensores o nodos sin alterar la estructura general de la arquitectura.

Como parte de la arquitectura tecnológica se definió una capa de procesamiento y visualización implementada mediante una aplicación móvil desarrollada en el motor Unity, integrada con herramientas de realidad aumentada a través del SDK Vuforia. Esta capa se encarga de transformar los datos recibidos desde el sistema de comunicación en información visual comprensible para el usuario, permitiendo la visualización en tiempo real de la cantidad y ubicación de los consumibles dentro de la bodega. La arquitectura contempla el uso de paneles interactivos, dashboards de inventario y elementos gráficos dinámicos, como diagramas de barras que representan el nivel de existencias de cada insumo de forma intuitiva.

Adicionalmente, se diseñó la arquitectura de la interfaz de usuario (UI) bajo principios de ergonomía, usabilidad y claridad visual, considerando las condiciones reales de operación en un entorno industrial. Se estableció una separación clara entre capa de adquisición de datos, la capa de comunicación, la lógica de procesamiento y la capa de presentación, lo que incrementa la mantenibilidad del sistema y reduce el acoplamiento entre componentes. Esta organización arquitectónica facilita futuras ampliaciones.

A continuación, en la Tabla 27, se presenta una comparación de sensores de peso para sistemas de inventario inteligente

Para el sistema inteligente de inventario propuesto se realizó una evaluación comparativa entre diferentes tecnologías de medición de peso empleadas en entornos industriales. Entre las alternativas analizadas se consideraron celdas de carga con módulo HX711, sensores industriales de galgas extensiométricas, básculas digitales y sensores piezoeléctricos, evaluando criterios técnicos, económicos y de integración.

Escala de calificación:

- 1= Muy deficiente
- 2= Deficiente
- 3= Aceptable
- 4= Bueno
- 5= Excelente

Tabla 27. Tabla comparativa de sensores de peso

Criterio de evaluación	Celdas de carga + HX711	Sensor de peso industrial (strain gauge industrial)	Bascula digital	Sensor piezoeléctrico
Precisión de medición	5	5	3	2
Resolución de señal	5	5	3	2
Medición continua	5	5	2	3
Integración con microcontrolador ESP32	5	3	2	3
Flexibilidad de instalación	5	3	2	4
Escalabilidad	5	3	1	3
Costo	4	2	3	4
Consumo energético	5	3	2	5
Facilidad de calibración	4	4	3	2
Adecuación para inventario dinámico	5	4	2	2
Total	48	37	23	30

Las celdas de carga acopladas al módulo HX711 destaca por su alta precisión y resolución lo que permite detectar variaciones mínimas de masa asociadas al consumo progresivo de insumos. A diferencia de las aculas digitales esta tecnología permite la medición continua en tiempo real sin necesidad de intervención humana característica fundamental para aplicaciones de monitoreo automatizado.

En comparación con sensores industriales de galga extensiométrica de uso pesado la solución basada en HX711 ofrece una mayor flexibilidad de instalación menor costo y una integración más sencilla con microcontroladores como el ESP32. Esto facilita la escalabilidad del sistema y la incorporación de múltiples puntos de medición distribuidos en la bodega.

En función de los criterios evaluados las celdas de carga con modulo HX711 ofrecen el mejor equilibrio entre precisión, escalabilidad, integración IoT y costo. Razón por la cual fueron seleccionados como la tecnología de medición para el sistema inteligente de inventario desarrollado.

A continuación, en la Tabla 28, se detalla la comparación de protocolos de comunicación para sistemas IoT industriales

Escala de calificación:

- 1= Muy deficiente
- 2= Deficiente
- 3= Aceptable
- 4= Bueno
- 5= Excelente

Tabla 28.Comparación de protocolos de comunicación para sistemas IoT

Criterio de evaluación	Peso (%)	MQTT	HTTP	CoAP	WebSocket
Bajo consumo de ancho de banda	20	5	2	4	3
Latencia en transmisión de datos	15	4	3	4	4
Adecuado para Iot y sensores	20	5	2	4	3
Arquitectura desacoplada (Pub/Sub)	15	5	1	3	2
Escalabilidad del sistema	10	4	3	3	4
Facilidad de implementación en ESP32	10	4	4	3	3
Fiabilidad en redes inestables	10	5	2	3	3

Puntaje total	100	32	17	24	22
---------------	-----	----	----	----	----

Del análisis comparativo presentado en la Tabla 28 se evidencia que el protocolo MQTT obtiene el mayor puntaje ponderado global, destacándose principalmente en criterios críticos para sistemas IoT industriales como el bajo consumo de ancho de banda la arquitectura desacoplada publicador-suscriptor y la fiabilidad en redes inestables.

Si bien otros protocolos como WebSocket y CoAP presentan ventajas puntuales ninguno logra un equilibrio entre eficiencia, escalabilidad y compatibilidad con microcontroladores de bajo consumo como el ESP32. Por esta razón MQTT fue seleccionado como el protocolo de comunicación del sistema propuesto.

En la Tabla 29, se detalla comparación de motores de desarrollo para aplicaciones de visualización y realidad aumentada.

Escala de calificación:

- 1= Muy deficiente
- 2= Deficiente
- 3= Aceptable
- 4= Bueno
- 5= Excelente

Tabla 29. Comparación de motores de desarrollo para aplicaciones de visualización y realidad aumentada

Criterio de evaluación	Peso (%)	Unity	Unreal Engine	Godot
Soporte para realidad aumentada	20	5	4	2
Integración con Vuforia	15	5	3	1
Compatibilidad con IoT y MQTT	15	4	3	3
Desarrollo multiplataforma	15	5	4	4
Facilidad de desarrollo UI interactiva	10	4	3	3
Curva de aprendizaje	10	4	2	4

Rendimiento en dispositivos móviles	15	4	5	3
Puntaje total	100	31	24	20

A partir del análisis comparativo presentado en la Tabla 29, se determinó que Unity es el motor de desarrollo más adecuado para la implementación de la aplicación móvil del sistema propuesto. Este motor destaca principalmente por su amplio soporte para aplicaciones de realidad aumentada, su integración nativa con el SDK Vuforia y su capacidad de desarrollo multiplataforma.

Aunque otras alternativas como Godot y Unreal Engine presentan ventajas específicas ninguna ofrece un equilibrio óptimo entre facilidad de desarrollo compatibilidad con sistemas IoT y soporte consolidado para realidad aumentada basada en marcadores. En este contexto Unity permite una integración eficiente entre los datos provenientes del sistema físico la visualización dinámica del inventario y la superposición de información en tiempo real sobre objetos reconocidos.

5.2.2. Arquitectura del sistema

La arquitectura define al ESP32 como nodo publicador de datos, encargado de procesar las señales provenientes de los sensores de peso y transmitir las unidades disponibles mediante el protocolo MQTT hacia un bróker intermedio. La aplicación móvil actúa como

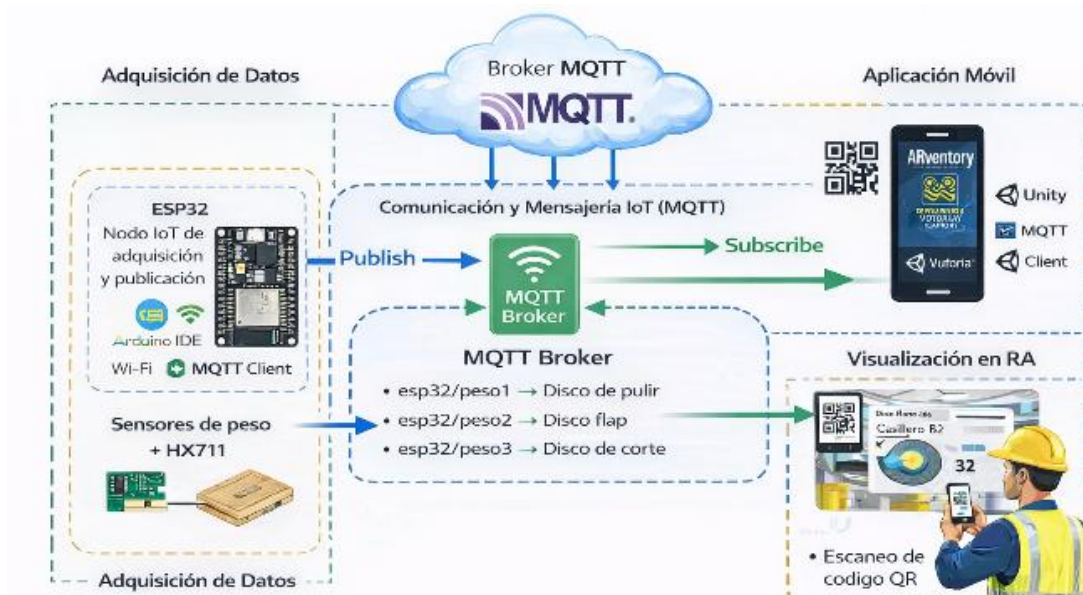


Figura 24. Arquitectura del sistema

suscriptor, recibiendo los datos de forma desacoplada para su posterior procesamiento y visualización.

La arquitectura del sistema propuesto fue diseñada bajo un enfoque IoT, con el propósito de integrar la adquisición, procesamiento, transmisión y visualización de datos relacionados con el inventario de consumibles dentro de la bodega. Su estructura permite captar información desde el entorno físico mediante sensores, procesarla a través de un nodo de control, transmitirla por un protocolo de comunicación ligero y representarla en una aplicación móvil con capacidades de visualización en RA.

En el bloque de adquisición de datos se encuentran los sensores de peso. Específicamente celdas de carga, encargadas de detectar la variación de peso de los consumibles colocados sobre la superficie de medición. Estos sensores convierten la fuerza mecánica ejercida por el peso del material en una señal eléctrica analógica de muy baja amplitud. Debido a que dicha señal no puede ser interpretada directamente por un microcontrolador, se incorpora el módulo HX711, cuya función es amplificar esta señal y convertirla en una salida digital estable. De esta manera, el HX711 actúa como interfaz entre el sensor físico y el sistema electrónico de procesamiento permitiendo obtener lecturas de peso con mayor precisión.

La información generada en esta etapa es enviada al ESP32 el cual constituye el nodo principal de adquisición y publicación de datos dentro de la arquitectura. Este microcontrolador cuenta con conectividad Wi Fi integrada y ejecuta el programa desarrollado en Arduino IDE, permitiendo leer los valores provenientes del HX711, procesarlos y prepararlos para su transmisión. Su papel dentro del sistema no se limita a recibir información, sino que también cumple la función de nodo IoT encargado de publicar los datos hacia la red.

La comunicación entre los componentes se realiza mediante el protocolo MQTT seleccionado por ser ligero, eficiente y adecuado para aplicaciones IoT. Dentro de esta arquitectura, el ESP32 actúa como cliente publicador, enviando las lecturas de peso a distintos tópicos definidos según el tipo de consumible monitoreado. Esta estructura facilita la organización de los datos y permite identificar de manera independiente cada material dentro del sistema.

El intercambio de mensajes es gestionado por un bróker MQTT que funciona como intermediario entre el dispositivo que publica la información y la aplicación que la recibe.

El bróker administra los mensajes enviados por el ESP32 y los distribuye a los clientes suscritos a los tópicos correspondientes garantizando una comunicación ordenada y en tiempo real.

En el bloque de visualización la información es recibida por una aplicación desarrollada en Unity la cual incorpora un cliente MQTT para suscribirse a los tópicos configurados en el bróker. Esta aplicación permite mostrar al usuario el peso y la cantidad estimada de consumibles disponibles en la bodega. Adicionalmente se integró Vuforia como herramienta de realidad aumentada permitiendo reconocer códigos QR y desplegar sobre el entorno físico la información asociada a cada consumible. De esta manera el sistema transforma una variable física como el peso en información digital útil para apoyar la gestión de inventarios dentro de la empresa.

Características detalladas de los componentes de la arquitectura del sistema

Con el fin de describir de manera específica los elementos que conforman la arquitectura del sistema a continuación se presentan las características principales de cada componente de hardware y software utilizado en el sistema.

- **Celda de carga**

La celda de carga es un sensor que transforma una fuerza mecánica en una señal eléctrica proporcional al peso aplicado. Su funcionamiento se basa en galgas extensiométricas las cuales varían su resistencia cuando se deforman por efecto de una carga. Entre sus características principales se encuentran su capacidad para medir pequeñas variaciones de peso con sensibilidad adecuada para aplicaciones de monitoreo de inventario. En el sistema propuesto, este componente permite detectar el peso de consumibles almacenado y generar la señal base para el cálculo de la cantidad de unidades disponibles.

- **Modulo HX711**

El HX711 es un convertidor analógico-digital de alta precisión diseñado específicamente para aplicaciones con celdas de carga. Su principal característica es la capacidad de amplificar señales analógicas de muy baja amplitud provenientes del sensor de peso y convertirlas en datos digitales utilizables por el microcontrolador. Este modulo opera con una resolución adecuada para tareas de medición precisa y facilita la lectura estable de la señal del sensor. Dentro de la arquitectura del sistema, el HX711 cumple la función de acondicionamiento y digitalización de la señal.

- **Microcontrolador ESP32**

El ESP32 es un microcontrolador de alto rendimiento orientado a aplicaciones de IoT. Entre sus características principales se destacan su conectividad Wi-Fi y Bluetooth integradas su mayor capacidad de procesamiento en comparación con placas convencionales y su compatibilidad con distintos sensores y protocolos de comunicación. En el sistema desarrollado el ESP32 actúa como nodo de adquisición y publicación de datos ya que recibe la información digital del HX711, la procesa y la transmite al bróker MQTT. Su uso resulta adecuado debido a que permite comunicación inalámbrica sin requerir módulos adicionales.

- **Protocolo MQTT**

MQTT es un protocolo de comunicación ligero diseñado para aplicaciones IoT. Su principal característica es que funciona bajo un modelo de publicación y suscripción lo que permite el intercambio eficiente de mensajes entre dispositivos. Este protocolo requiere bajo consumo de ancho de banda y presenta una estructura simple por lo que resulta apropiado para la transmisión continua de datos en tiempo real.

- **Bróker MQTT**

El bróker MQTT es el componente encargado de gestionar la comunicación entre los dispositivos publicadores y suscriptores. Su principal característica es actuar como intermediario en el flujo de información recibiendo los mensajes publicados y distribuyéndolos a los clientes suscritos a cada tópico. Esto permite organizar los datos del sistema mediante canales específicos garantizando la comunicación estructurada y eficiente.

- **Aplicación desarrollada en Unity**

Unity es un entorno de desarrollo utilizado para crear aplicaciones interactivas y visuales. Entre sus características principales se encuentran su capacidad de integrar interfaces gráficas, manejar elementos tridimensionales y trabajar con herramientas complementarias como Vuforia y clientes MQTT.

- **Vuforia**

Vuforia es una plataforma de desarrollo de RA que permite reconocer marcadores o códigos visuales y superponer información digital sobre el entorno físico. Su principal característica es la capacidad de vincular objetos reales con contenido virtual.

- **Códigos QR**

Los códigos son patrones bidimensionales de almacenamiento de información que pueden ser reconocidos por dispositivos móviles. Su principal característica es la facilidad de lectura y rápida identificación.

5.2.3. Esquema funcional del sistema de inventario inteligente

El esquema de conexión representa la integración del sistema de peso con ESP32, módulos HX711 y celdas de carga, que constituye la base de adquisición de datos para el control de inventario. El módulo HX711 actúa como interfaz de instrumentación, ya que amplifica y digitaliza la señal de muy baja magnitud proveniente del sensor de peso, permitiendo que el microcontrolador procese lecturas estables. La configuración contempla una alimentación común (VCC y GND) para los módulos y el microcontrolador y establece líneas de comunicación digitales DT (data) y SCK (clock) entre cada HX711 y el ESP32, de modo que cada punto de pesaje pueda ser leído de forma independiente. Esta arquitectura facilita la escalabilidad del sistema al permitir aumentar o distribuir sensores manteniendo el mismo criterio de conexión y lectura.

A continuación, se presenta en la Figura 25, el esquemático de conexión del sistema de pesaje con tres celdas de carga, cada una acoplada a su respectivo modulo HX711 y conectadas al ESP32. Se observa la distribución de alimentación y la asignación de las líneas DT/SCK para la lectura individual de cada sensor.

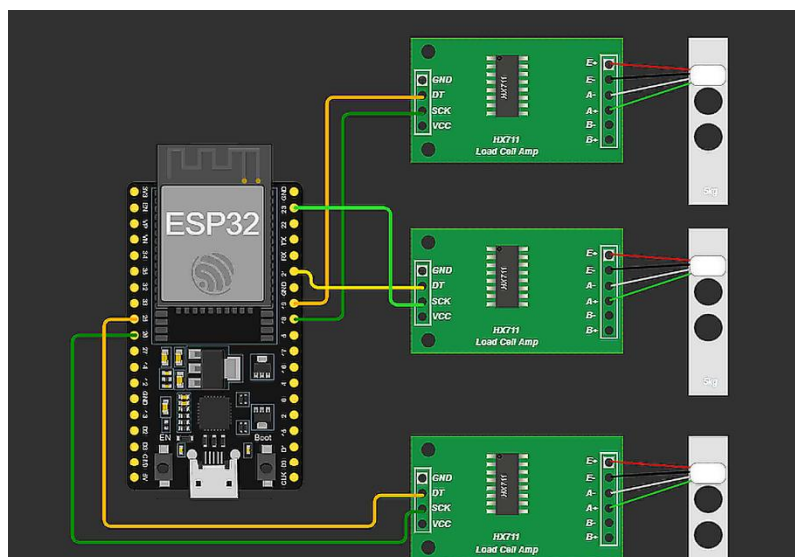


Figura 25. Esquemático de conexión del sistema de pesaje con tres celdas de carga

En la Figura 26, se representa el esquemático de conexión del sistema de pesaje con dos celdas de carga, integradas mediante dos módulos HX711 hacia el ESP32. El diagrama muestra el mismo esquema de alimentación y comunicación digital, permitiendo la adquisición separada de las señales de peso en cada punto de medición.

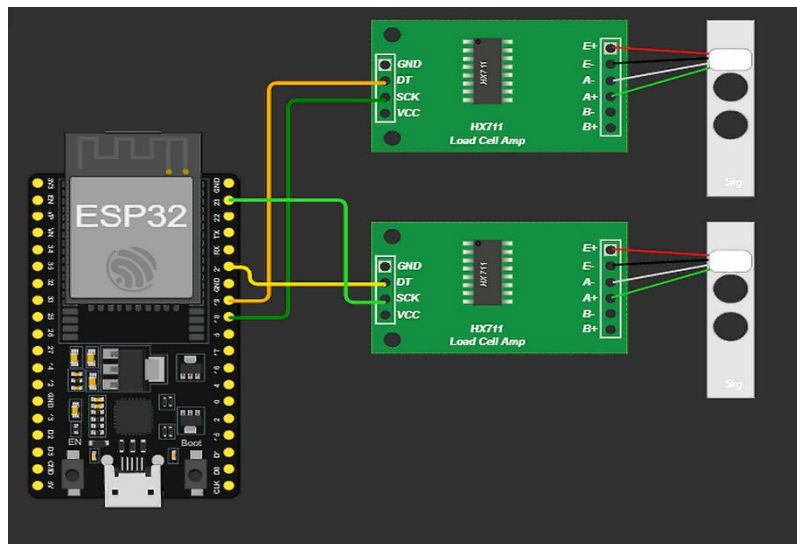


Figura 26. Esquemático de conexión del sistema de pesaje con dos celdas de carga

5.3.OBJETIVO 3

5.3.1. Desarrollo de un prototipo funcional de una aplicación móvil en RA

El desarrollo del prototipo funcional del sistema inteligente de inventario se ejecutó mediante la implementación integrada de tres componentes: el sistema físico de adquisición y procesamiento en el microcontrolador ESP32 con sensores de peso y módulos HX711, la aplicación móvil desarrollada en Unity, con la integración de realidad aumentada (vuforia) para visualización contextual y la comunicación de datos en tiempo real utilizando el protocolo MQTT como medio de enlace entre el sistema físico y la interfaz móvil. Este objetivo consolidó la operatividad del sistema completo, permitiendo la obtención de datos de inventario en tiempo real, su transmisión hacia un bróker y su representación visual en la aplicación móvil mediante paneles y elementos de RA.

5.3.2. Programación del microcontrolador ESP32 y calibración de sensores de peso.

5.3.2.1. Preparación del entorno de desarrollo (Arduino IDE) y librerías.

La programación del microcontrolador se realizó mediante Arduino IDE, configurando el entorno para compilación y carga hacia el ESP32. Se integraron las librerías necesarias para:

- Lectura de celdas de carga mediante HX711
- Conectividad Wi-Fi
- Publicación MQTT mediante un cliente compatible “PubSubClient”
- Manejo de cadenas/datos para el envío de variables a tópicos

Este entorno permitió un desarrollo iterativo: compilación, despliegue al dispositivo y verificación de funcionamiento mediante monitor serial facilitando la depuración de conectividad y estabilidad de lectura.

En la Figura 27, se presenta una captura de pantalla del entorno Arduino IDE 2.3.6 con la placa ESP32 Dev Module seleccionada y el sketch “sketch_jul14a.ino” abierto. En el panel Library Manager se evidencia las librerías instaladas requeridas para el desarrollo (HX711, PubSubClient). En el código se observan la configuración inicial del Wi-Fi/MQTT, la definición de los tópicos (esp32/peso) y la asignación de pines de los módulos HX711 del segundo piso. En la parte inferior se muestra el Serial Monitor activo a 115200 baudios, con comunicación por COM7 y visualización de lectura en tiempo real.

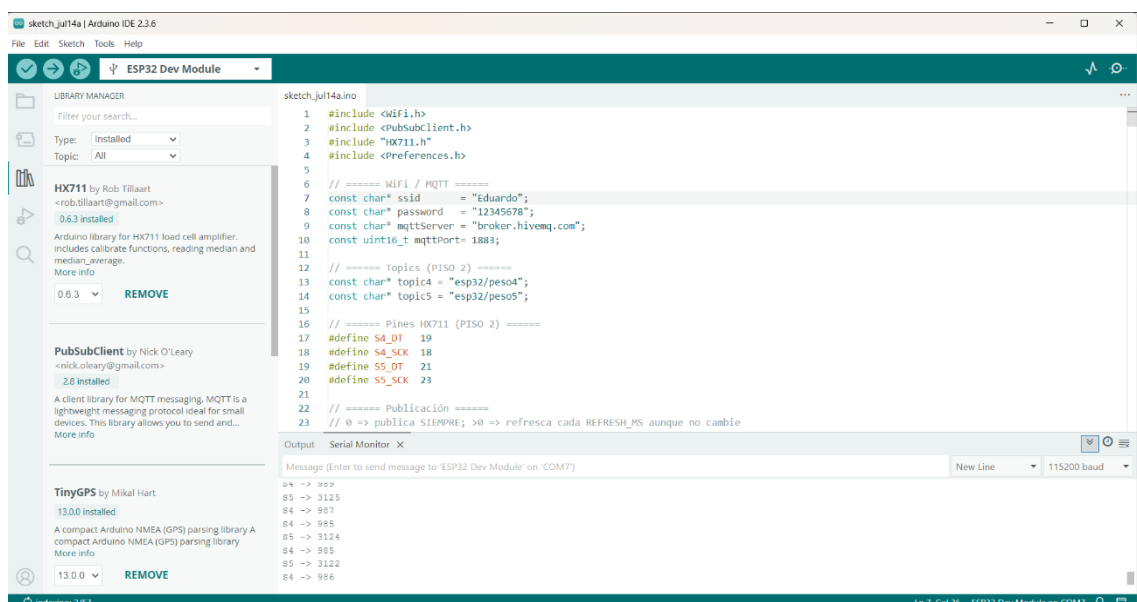


Figura 27. Captura de Arduino IDE

5.3.2.2. Integración del hardware de pesaje: celda de carga + módulo HX711 +ESP32

El prototipo implementa el pesaje mediante celdas de carga conectadas a módulos HX711, encargados de amplificar y digitalizar la señal proveniente del puente extensométrico. Cada HX711 se conecta al ESP32 mediante dos líneas DT (data) y SCK (clock), asignados a pines GPIO del microcontrolador. Esta configuración permite leer peso con alta sensibilidad y repetibilidad bajo condiciones controladas.

En la fase de prototipo se consideró la lectura de múltiples sensores para monitorear distintos consumibles. Para ello se establecieron asignaciones de pines específicas por sensor, garantizando independencia de lectura y evitando colisiones de señal. El ensamblaje se verificó en términos de alimentación estable, cableado seguro y correcto aterrizaje, minimizando ruido eléctrico que afecte la señal.

En la Tabla 30, se detalla la asignación de pines DT y SCK para los módulos HX711 en dos niveles de implantación. En el piso 1 (ESP32 #1) se registraron los sensores 1-3 con sus respectivas conexiones GPIO; y En el piso 2 (ESP32 #2) se registran los sensores 4-5, manteniendo la correspondencia de pines definida para cada módulo. Esta tabla permite estandarizar el cableado y evitar errores de conexión entre pisos.

Tabla 30. Tabla de asignación de pines HX711 por piso

PISO 1 (ESP32 #1)		
SENSOR	DT	SCK
Sensor 1	GPIO 19	GPIO 18
Sensor 2	GPIO 21	GPIO 23
Sensor 3	GPIO 25	GPIO 26
PISO 2 (ESP32 #2)		
SENSOR	DT	SCK
Sensor 4	GPIO 19	GPIO 18
Sensor 5	GPIO 21	GPIO 23

5.3.2.3. Lectura de datos del hx711 y estabilización de medición.

Se implemento la rutina de lectura para cada HX711, obteniendo valores en crudo (raw) y posteriormente valores convertidos a unidades físicas (gramos/ kilogramos) según el factor de calibración. Con el fin de mejorar estabilidad, se aplicaron estrategias típicas de filtrado/estabilización en prototipos de pesaje, tales como:

- Lectura repetida por ciclo (muestras consecutivas).
- Descarte de calores anómalos.
- Suavizado mediante promedio simple.
- Control de tiempo entre lecturas para evitar fluctuación excesiva.

La estabilización se validó observando que, bajo carga constante la lectura converge a un valor estable con variación mínima, permitiendo que el cálculo de inventario no oscile de manera errática.

En la Figura 28, se presenta el Monitor Serial del Arduino IDE configurado a 115200 baudios, evidenciando la recepción continua y estable de lecturas provenientes de los sensores (S4 Y S5). Los valores se actualizan en tiempo real sin interrupciones, lo que confirma la correcta comunicación del ESP32 y la estabilidad de la adquisición de datos.



Figura 28. Monitor Serial del Arduino IDE

La Figura 29, representa un extracto del programa donde se parametriza la conectividad Wi-Fi/MQTT, se definen los tópicos de publicación por señor y se asignan los pines DT/SCK para los módulos HX711, organizados por piso.

```
#include <Preferences.h>

// ===== WiFi / MQTT =====
const char* ssid      = "Eduardo";
const char* password  = "12345678";
const char* mqttServer = "broker.hivemq.com";
const uint16_t mqttPort= 1883;

// ===== Topics (PISO 2) =====
const char* topic4 = "esp32/peso4";
const char* topic5 = "esp32/peso5";

// ===== Pines HX711 (PISO 2) =====
#define S4_DT  19
#define S4_SCK 18
#define S5_DT  21
#define S5_SCK 23

// ===== Publicación =====
// 0 => publica SIEMPRE; >0 => refresca cada REFRESH_MS aunque no cambie
const unsigned long REFRESH_MS = 5000; // 5 s (pon 0 si quieres publicar siempre)

// ===== Objetos =====
HX711 scale4, scale5;
WiFiClient espClient;
PubSubClient mqtt(espClient);
Preferences prefs;

// Namespace NVS distinto al piso 1
const char* NVS_NS = "HX_PISO2";
```

Figura 29. Conectividad Wi-Fi/MQTT

5.3.2.4. Proceso de calibración del sistema de pesaje

La calibración del sistema se ejecutó para transformar la señal del HX711 en un valor de peso confiable. Se aplicó un procedimiento estándar:

- Tara inicial: se establece el cero del sistema sin carga
- Aplicación de masa patrón: se coloca un peso conocido sobre la celda.
- Ajuste del factor de calibración: se modifica el factor hasta que la lectura corresponda al peso real.
- Validación: se repite con cargas diferentes para confirmar linealidad aproximada y consistencia.

Este proceso se repitió por cada sensor instalado, ya que cada celda y montaje puede presentar pequeñas variaciones de sensibilidad. El resultado fue un conjunto de factores/calibraciones aplicadas en el firmware del ESP32.

Figura 30, la captura evidencia la ejecución del procedimiento de tara y calibración para el sensor 5 (S5). Primero se aplica la tara (cero del sistema), y posteriormente el sistema solicita el ingreso de un peso conocido en gramos, con este valor el programa calcula automáticamente el factor de escala (scale) y confirma el estado de calibración. Este mismo procedimiento se aplica para los demás sensores, registrando sus respectivos valores de calibración.

```
[S5] Tare...
[S5] offset=186021
[S5] Ingresa PESO CONOCIDO en g: [S5] Calibrado. scale=-99.519997 (cuentas/gramo)
S4 -> 997
S5 -> 1
MQTT broker.hivemq.com:1883 ... OK
```

Figura 30. Ejecución del procedimiento de tara y calibración para el sensor 5

5.3.2.5. Conversión de peso a unidades de inventario (cálculo en el esp32)

Para el prototipo, el dato operativo requerido por el sistema es unidades existentes, no solo peso. Por ello se implementó en el ESP32 la lógica que convierte el peso total medido en un número de unidades del consumible, considerando que cada unidad posee un peso nominal.

El cálculo se implementó con base en:

- Peso total leído por sensor.
- Peso unitario nominal del consumible.
- Reglas de redondeo/control para evitar conteos incorrectos cuando el peso cae fuera de rangos esperados.

El resultado final por sensor se define como un valor entero (unidades), que luego se publica por MQTT. Esta decisión reduce carga de cálculo en la aplicación móvil y asegura que el sistema físico entregue directamente el indicador operativo de inventario.

La Figura 31, muestra el código que convierte el peso en gramos leído por el sensor en cantidad de unidades. Primero ajusta el valor con un bias (ajusto fino), aplica una tolerancia para estabilizar el conteo ante pequeñas variaciones y calcula las unidades. El programa se parametriza por cada sensor, el peso unitario del consumibles (gramos/unidad) y un rango permitido para el conteo, implantado mediante una

tolerancia. Estos valores se declaran como `unitx_g` (peso por unidad) y `tolx_g` (tolerancia), calculada como un porcentaje del peso unitario. Lo que permite absorber variaciones esperables por lectura del HX71, vibración o cambios mínimos de carga sin alterar el conteo de unidades.

En el piso 1 se configuro los consumibles asociados a S1-S3 (p. ej. S1 con 355g/unidad, S2 con 60g/unidad y S3 con 60g/unidad), y se define su tolerancia proporcional +- 20% del peso unitario. Para los sensores restantes se aplica el mismo esquema de parametrización con respecto a sus valores unitarios (30g/ unidad y 60g/unidad).

```
long unitsFromGrams(float g,float unit_g,float tol_g,float bias_g){
    float gg = g + bias_g;
    if (unit_g <= 0) return 0;
    long u = (long)floor((gg + tol_g)/unit_g + 1e-6f);
    return clampLong(u,0L,1000000L);
}
```

Figura 31. Código de conversión a gramos

5.3.2.6. Conectividad Wi-Fi y conexión al broker MQTT

Se configuro al ESP32 para conectarse a una red Wi-Fi definida, estableciendo un enlace de datos que permita la publicación hacia el broker MQTT. El firmware incorpora:

- Rutina de conexión Wi-Fi con validación de estado.
- Configuración del bróker (host y puerto).
- Reconexión automática ante perdida de red o broker.
- Confirmación por monitor serial de estado de conexión.

Esto permite que el sistema opere de manera autónoma, sin intervención manual posterior a su energización.

Figura 32. Monitor Serial: conexión Wi-Fi y conexión MQTT exitosa. La captura del monitor serial evidencia que el ESP32 establece correctamente la conexión a la red Wi-Fi (mensaje “Wi-Fi conectado”) y a continuación, realiza la conexión con el broker

MQTT configurado (broker.hivemq.com:1883), confirmada con el estado “OK”. Esto valida la comunicación de red necesaria para la publicación de datos de los sensores hacia los tópicos definidos en el sistema.

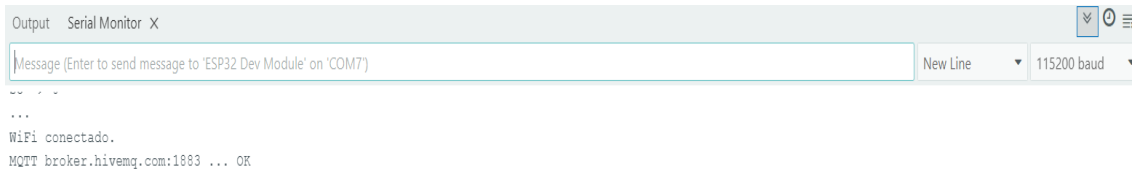


Figura 32. Monitor Serial

5.3.2.7. Publicación MQTT de unidades por sensor (tópicos del prototipo)

Una vez calculadas las unidades el ESP32 publica periódicamente el valor de cada sensor en su tópico correspondiente. Para el prototipo el payload transmitido es numérico y representa solo unidades, facilitando el consumo directo en la interfaz.

Se definieron tópicos por sensor/insumo, bajo un esquema del tipo: esp32/peso1, esp32/peso2, esp32/peso3, esp32/peso4, esp32/peso5. La publicación se realiza a intervalos regulares, controlados por temporización interna del firmware, garantizando actualización continua del inventario.

5.3.3. Integración de realidad aumentada con Unity y Vuforia

5.3.3.1. Configuración del proyecto Unity para Android y estructura de escenas

El prototipo móvil se desarrolló en Unity con destino Android. Se estructuró una escena principal que contiene los paneles UI y los componentes de RA. La configuración incluyó:

- Canvas y sistema UI.
- Paneles organizados por funcionalidad.
- Soporte de escalado de interfaz y simulación de dispositivo.
- Configuración de permisos de cámara para RA.

La organización jerárquica de objetos se realizó para mantener separación funcional entre interfaz, lógica de datos y componentes RA.

En la Figura 33, se muestra la jerarquía (Hierarchy) de Unity: Canvas, paneles UI y objetos de Realidad Aumentada. La captura muestra la estructura de la escena en Unity (SampleScene), evidenciando el Canvas como contenedor de la interfaz y sus paneles de navegación (menú, escáner e inventario) organizados dentro del área segura (SafeAreaPanel). Asimismo, se observa la configuración de los componentes principales de RA (ARCamera) y los ImageTarget utilizados para el reconocimiento, cada uno asociado a un modelo 3D del consumible. Esta organización permite controlar la visualización de la interfaz y la activación de objetos RA según el marcador detectado

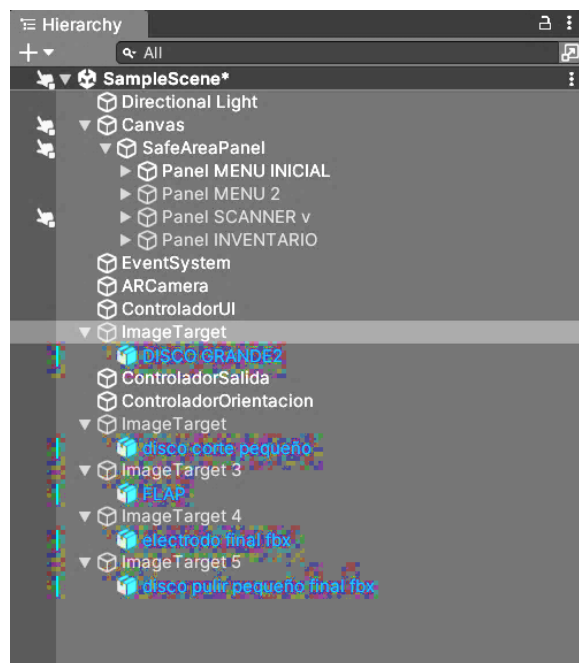


Figura 33. Jerarquía (Hierarchy) de Unity

5.3.3.2. Implementación de flujo de interfaz: inicio → menú → escaneo → inventario

Diagrama de actividades

En la Figura 34, se presenta el diagrama de actividades de la aplicación ARventory (Unity + Vuforia + MQTT), el cual modela la secuencia de acciones y decisiones que ejecutan el sistema desde el arranque hasta su cierre. El flujo integra la interfaz de usuario, la lógica de control, la activación del módulo de RA y la comunicación IoT mediante MQTT, permitiendo visualizar en tiempo real variables de inventario a partir de la lectura proveniente del ESP32.

El proceso inicia con el arranque de la aplicación e inicialización de la UI, tras lo cual el usuario accede al Panel menú 2, desde donde puede cerrar la aplicación o seleccionar

funcionalidades como Inventario o escáner. Al ingresar al módulo operativo, el sistema activa el componente de RA y establece la conexión con el bróker MQTT para habilitar la recepción de datos. Posteriormente, el flujo incorpora dos puntos de decisión: (1) la selección de usuario y (2) la validación de si el ImageTarget fue detectado. Si el marcador no es reconocido, el sistema muestra el mensaje “Apunte al marcador” y mantiene el ciclo de espera hasta lógralo la detección. Una vez detectado el ImageTarget y con MQTT conectado, la aplicación recibe el peso publicado por el dispositivo, procesa el peso total y ejecuta la conversión a unidades de inventario, actualizando la visualización en RA. Al solicitar la salida del sistema, se ejecuta la desconexión de MQTT y la desactivación del módulo Ra, retornando al Panel menú 2 o permitiendo el cierre definitivo de la aplicación.

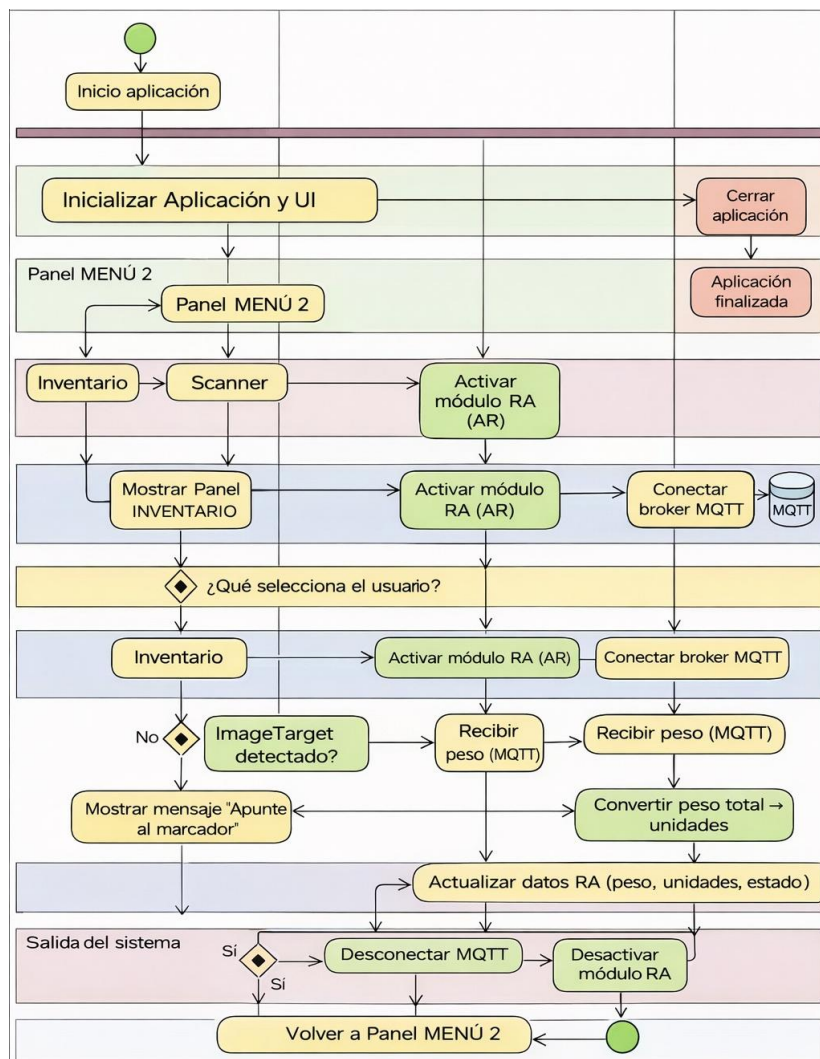


Figura 34. Diagrama de actividades

Se implementó el flujo de navegación del prototipo mediante paneles:

- Panel inicio: pantalla de arranque del sistema.
- Panel menú: accesos directos a escanear e inventario.
- Panel escaneo: activa RA y consulta contextual por marcador.
- Panel inventario/dashboard: muestra el inventario consolidado en barras.

Este flujo reduce el tiempo de interacción del operario, permitiendo acceder rápidamente a la consola por RA o a la vista global de inventario.

La Figura 35, presenta la interfaz de inicio de la aplicación móvil ARventory, desarrollada en el motor Unity. Esta pantalla cumple la función de punto de acceso al sistema, permitiendo al usuario iniciar la interacción con la aplicación de manera intuitiva y rápida.

El diseño de la interfaz prioriza la simplicidad visual y la identificación institucional, incorporando el nombre del sistema y el logo de la empresa Dobladoras Cotopaxi, con el fin de reforzar la identidad del proyecto y facilitar su adopción en el entorno industrial.

Desde el punto de vista arquitectónico, esta actúa como nodo inicial de la capa de presentación del sistema separando la interacción del usuario de los procesos de adquisición y procesamiento de datos, los cuales se ejecutan en segundo plano mediante los módulos IoT y el protocolo MQTT.



Figura 35. Inicio de la aplicación móvil ARventory

La Figura 36, muestra el panel principal de navegación de la aplicación ARventory, el cual permite al usuario seleccionar las funcionalidades clave del sistema mediante opciones claramente diferenciadas. En este panel se presentan las alternativas de Escáner e Inventario, que corresponden a los módulos operativos principales de la aplicación.

La opción Escáner dirige al usuario al módulo de realidad aumentada, en donde se realiza el reconocimiento visual de los consumibles mediante el SDK Vuforia, mientras que la opción Inventario permite acceder al dashboard de monitoreo de existencias en tiempo real.

El modelado de este panel se realizó bajo criterios de usabilidad y ergonomía considerando el uso del sistema en dispositivos móviles dentro de un entorno industrial. La arquitectura de la interfaz establece una navegación modular, facilitando la escalabilidad del sistema y la incorporación futura de nuevas funcionalidades sin afectar la estructura general de la aplicación.

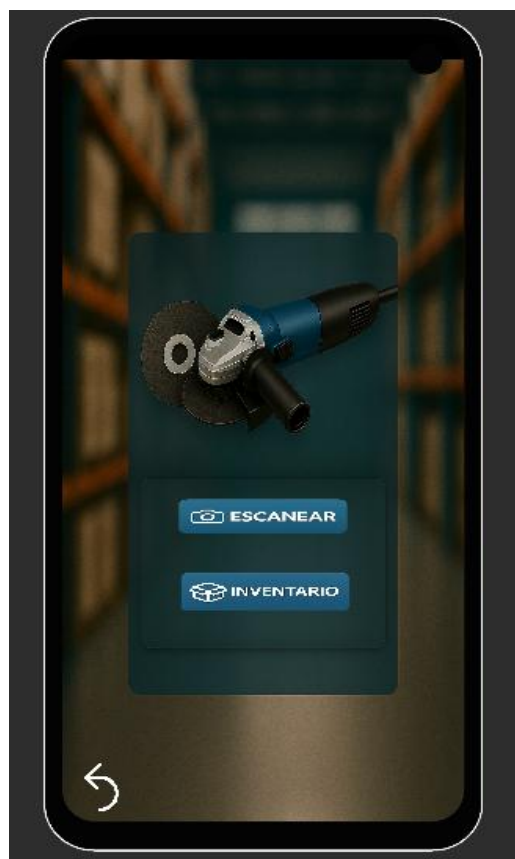


Figura 36. Panel principal de navegación del sistema

5.3.3.3. Implementación del módulo de escaneo RA (ImageTarget/QR) con Vuforia.

El módulo de escaneo se desarrolló utilizando Vuforia, configurando un ImageTarget asociado al marcador (QR/imagen). Al detectar el marcador se despliega contenido virtual:

- Modelo 3D del insumo.
- Textos informativos (nombre, descripción, ubicación).
- Sección de “UNIDADES EXISTENTES” con el valor actualizado.

El sistema se diseñó para que el usuario apunte al marcador y reciba información operativa contextual, sustituyendo búsqueda manual o consulta externa del inventario.

La Figura 37, muestra el panel de escaneo del sistema ARventory, correspondiente al módulo de realidad aumentada desarrollado en Unity e integrado con el SDK Vuforia. Este panel permite la identificación visual de los consumibles almacenados en bodega mediante el conocimiento de códigos QR previamente asociados a cada insumo.

Una vez detectado el QR, el sistema despliega información relevante del producto directamente sobre la escena capturada por la cámara del dispositivo móvil, incluyendo el nombre del consumible, sus características principales (diámetro y tipo), la ubicación física dentro de la bodega y el número de unidades existentes. Esta información se obtiene a partir de los datos recibidos en tiempo real desde el IoT a través del protocolo MQTT.

La superposición de elementos virtuales sobre el entorno real permite al usuario acceder a información contextualizada sin necesidad de consultar registros manuales o sistemas externos, reduciendo el tiempo de búsqueda y minimizando errores operáticos. Desde el punto de vista arquitectónico, este panel representa la integración directa entre la capa de adquisición de datos (sensores de peso), la capa de comunicación (MQTT) y la capa de visualización en realidad aumentada.

El diseño del panel prioriza la claridad visual y la legibilidad de la información, considerando su uso en un entorno industrial, donde el operador requiere de acceso rápido y preciso a los datos de inventario. Este módulo constituye un componente clave del sistema inteligente propuesto, al facilitar la gestión de consumibles mediante tecnologías de industria 4.0.



Figura 37. Módulo de escaneo en Realidad Aumentada

En la Figura 38, se observa la aplicación de Unity: ImageTarget y objetos hijos asociados. La captura evidencia la estructura de ImageTarget dentro de la jerarquía de Unity, donde cada marcador tiene como hijo el modelo 3D correspondiente al consumible. Esta organización permite que al reconocer un marcador se active únicamente el objeto hijo asociado y se visualice el elemento en realidad aumentada, de esta manera nos permite saber de manera ordenada cada uno de los modelos colocados en el apartado de ImageTarget.

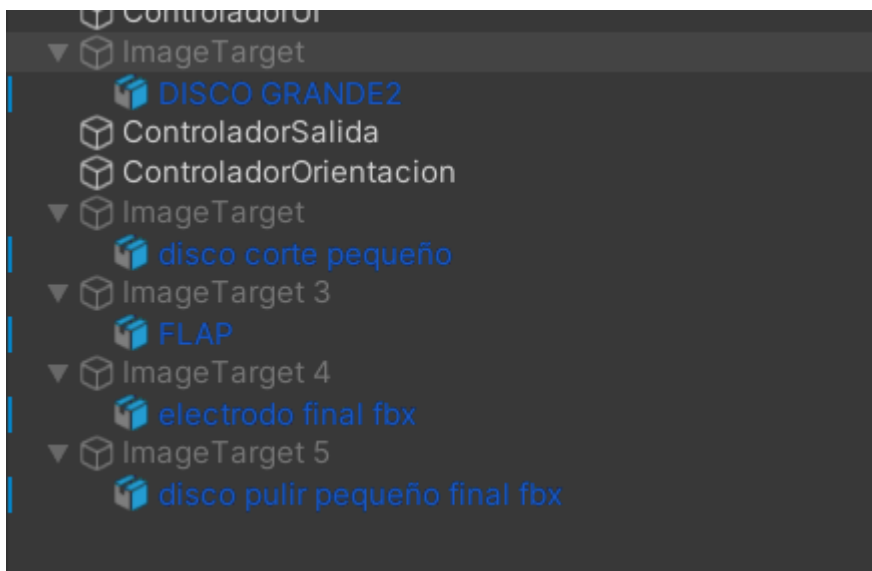


Figura 38. ImageTarget y objetos hijos asociados

5.3.3.4. Suscripción MQTT en Unity y actualización del texto de unidades en RA

El protocolo integra la recepción de unidades mediante MQTT dentro de Unity. Al suscribirse a los tópicos definidos, el sistema actualiza el campo de unidades en pantalla con TextMeshPro. La actualización ocurre en tiempo real cuando el broker recibe nuevos valores publicados por el ESP32.

Esto permite que la misma pantalla de RA muestre el dato vigente del inventario, integrando en una sola vista:

- Identificación visual del insumo.
- Ubicación y descripción.
- Unidades reales disponibles.

En la Figura 39, se observa la aplicación de Unity (Inspector): Configuración MQTT. La captura del Inspector muestra el componente “Mqtt Unidades Inline (Script)”, donde se parametriza la conexión al broker (broker.hivemq.com), el puerto (1883) y el tópico de suscripción (esp32/peso1). Adicionalmente, se define el campo Target Text (TMP_Text) como destino de visualización en la interfaz. Esta misma configuración se replica para los demás consumibles, cambiando únicamente el tópico correspondiente.

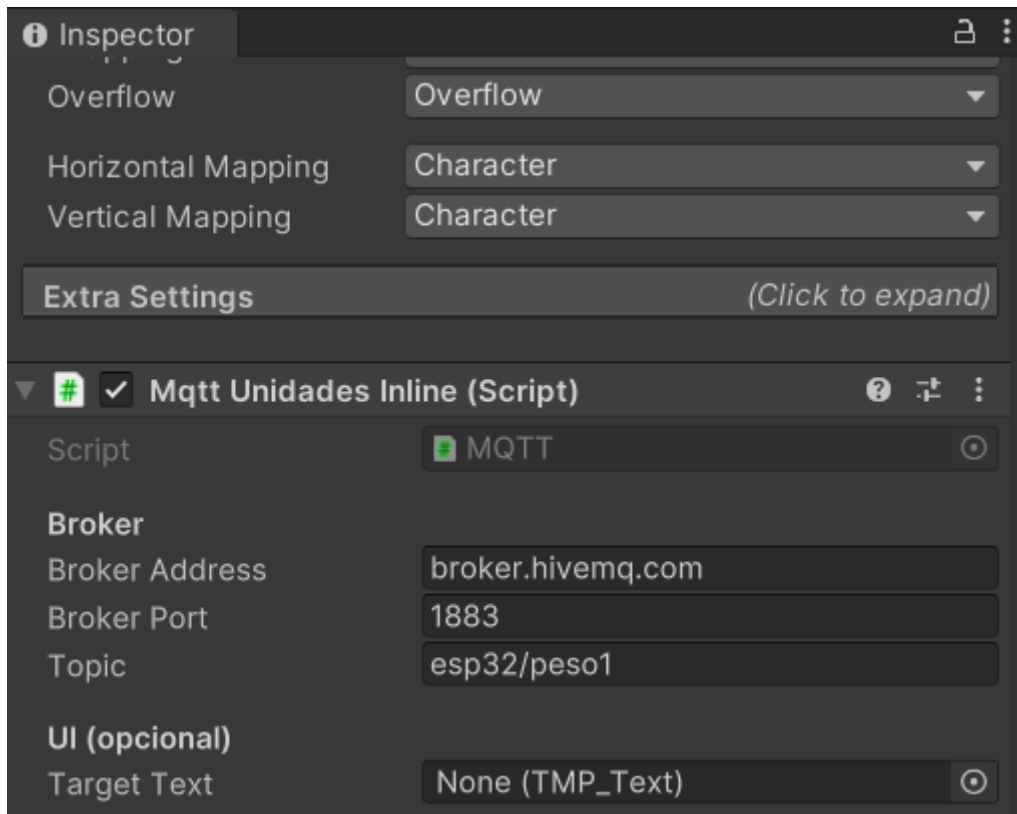


Figura 39.Unity (Inspector): Configuración MQTT

5.3.4. Pruebas de conectividad entre el sistema físico y la app móvil.

5.3.4.1.Prueba 1: Conectividad ESP32 ↔ Wi-Fi ↔ broker MQTT

Se ejecuto una prueba de conectividad verificando que al energizar el ESP32:

- Se conecta a la red Wi-Fi.
- Se conecta al bróker MQTT.
- Publica unidades periódicamente.

Criterio de aceptación: conexión estable + publicación continua

Resultado esperado: el monitoreo serial confirma estados y se observa tráfico MQTT.

En la Figura 40, se muestra la captura de un cliente MQTT conectado exitosamente al broker broker.hivemq.com:1883 (estado en verde). Se observa la suscripción al tópico esp32/peso1 con QoS 0 y en el panel de mensajes la recepción continua de publicaciones con el valor “16” en distintos sellos de tiempo. Esta evidencia confirma que el EP32 está

publicando correctamente los datos que estos son recibidos por un cliente externo. Para los demás sensores se replica el mismo procedimiento cambiando el t3pico.

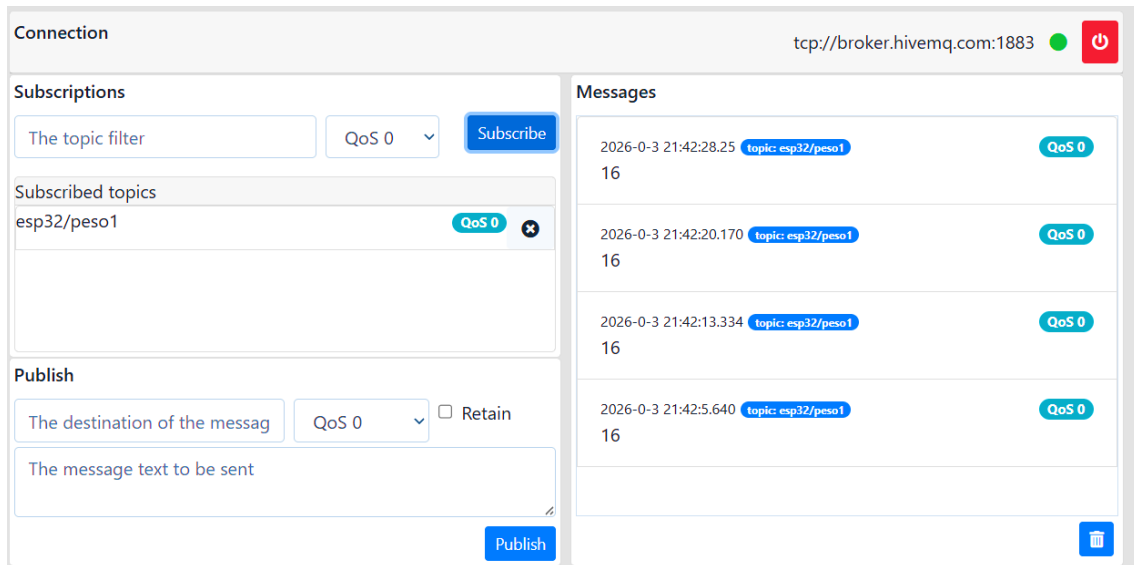


Figura 40. Cliente MQTT: recepci3n de datos publicados por el ESP32

5.3.4.2. Prueba 2: Broker MQTT ↔ Unity (suscripci3n) ↔ actualizaci3n de textos.

Se verifico que Unity recibe los mensajes MQTT y actualiza el texto correspondiente a cada consumible. La prueba consisti3 en cambiar unidades (por variaci3n de peso/valor publicado) y observar actualizaci3n en pantalla.

5.3.4.3. Prueba 3: Actualizaci3n visual del dashboard (texto ↔ barras)

Se valido que los calores num3ricos recibidos por MQTT se reflejen tambi3n en la representaci3n gr3fica (barras). El sistema actualiza din3micamente la altura de cada barra, conservando una lectura visual inmediata del estado de inventario.

Criterio de aceptaci3n: barra cambia proporcionalmente al dato num3rico.

La Figura 41, presenta el panel de visualizaci3n del inventario desarrollado en Unity, el cual constituye el dashboard del sistema inteligente propuesto. Este panel permite al usuario monitorear en tiempo real la cantidad de unidades disponibles de cada consumibles almacenado en la bodega, a partir de los datos obtenidos por los sensores de peso instalados en los casilleros.

La información mostrada en el dashboard es recibida mediante el protocolo MQTT, donde el microcontrolador ESP32 actúa como publicador de los datos procesados, mientras que la aplicación móvil se suscribe a los tópicos correspondientes a cada insumo. Los valores recibidos representan directamente las unidades existentes, las cuales se actualizan dinámicamente conforme se producen variaciones en el peso detectado por los sensores.

El panel emplea una representación gráfica mediante barras verticales acompañadas de valores numéricos y etiquetas descriptivas, lo que facilita la interpretación visual del estado del inventario. La altura de cada barra se ajusta de forma proporcional al número de unidades disponibles, permitiendo identificar de manera rápida consumibles con niveles bajos o altos de existencias.

Desde el punto de vista arquitectónico, este módulo corresponde a la capa de presentación del sistema, integrando la lógica de procesamiento de datos y la visualización interactiva en una única interfaz. Este dashboard complementa el módulo de realidad aumentada del sistema ARventory, proporcionando una visión global del estado del inventario, mientras que el panel de escaneo permite el acceso detallado a la información de cada consumibles de manera individual.

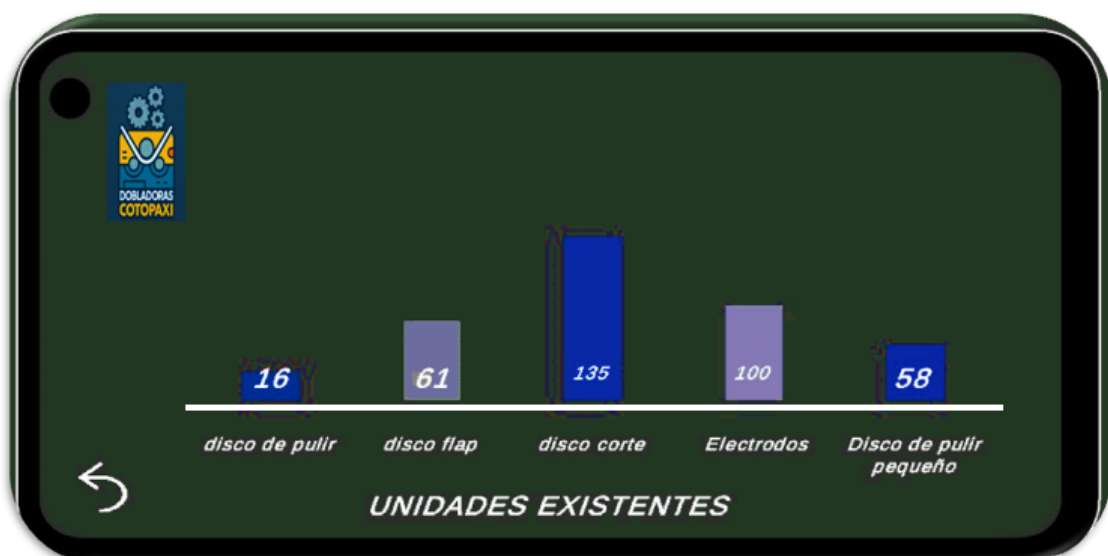


Figura 41. Panel de visualización del inventario desarrollado en Unity

5.3.4.4. Prueba 4: Funcionamiento RA completo (detección + render+ unidades vigentes)

Se evaluó el flujo completo en RA:

1. Se detecta el marcador.
2. Se renderiza el modelo 3D y textos.
3. Se muestra el valor de unidades existentes actualizado.

Criterio de aceptación: estabilidad del render sobre el target + dato visible.

Figura 42. Evidencia final: Realidad aumentada (RA) en ejecución con identificación de consumible y unidades existentes. La captura muestra la ejecución del módulo ESCANEAR desde el dispositivo móvil, donde el sistema reconoce el marcador (QR) y despliega en realidad aumentada el modelo 3D del consumible identificado. En la parte superior se presenta la descripción y la ubicación asignada y en la parte inferior se visualiza el conteo de unidades existentes, evidenciando la integración entre reconocimiento del marcador, visualización RA y consulta de stock.

En la Figura 42, se observa la evidencia final de RA en ejecución con identificación de consumible y unidades existentes. La captura muestra la ejecución del módulo ESCANEAR desde el dispositivo móvil, donde el sistema reconoce el marcador (QR) y despliega en realidad aumentada el modelo 3D del consumible identificado. En la parte superior se presenta la descripción y la ubicación asignada y en la parte inferior se visualiza el conteo de unidades existentes, evidenciando la integración entre reconocimiento del marcador, visualización RA y consulta de stock.

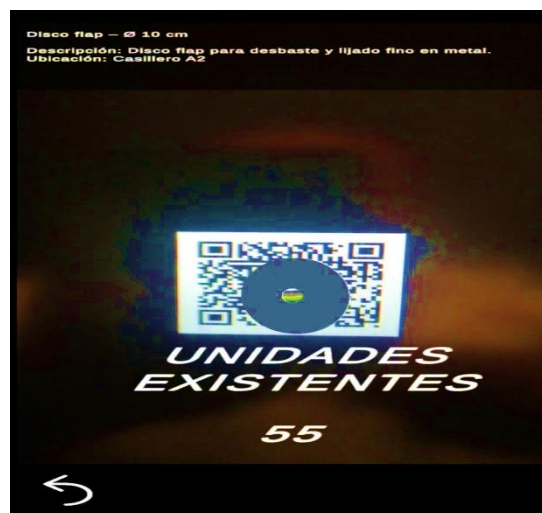


Figura 42. Evidencia final

5.4.OBJETIVO 4

Previo a la implementación del sistema inteligente de inventario se realizó una medición de tiempos asociada al proceso de búsqueda y retiro de consumibles en bodega Tabla 6. Esta actividad fue ejecutada mediante observación directa a tres operarios de las áreas de soldadura, corte y acabados. Los resultados evidenciaron tiempos prolongados de búsqueda, así como incidencias frecuentes relacionadas con la falta de ubicación clara de los insumos y la inexistencia de información en tiempo real sobre el stock disponible.

5.4.1. Toma de tiempos actuales con el sistema propuesto.

Posteriormente a la implementación del prototipo funcional del sistema inteligente de inventario se repitió la medición de tiempos bajo las mismas condiciones operativas y con los mismos perfiles de operarios. En este escenario el sistema permitió identificar de forma inmediata la disponibilidad y ubicación de los consumibles mediante la aplicación móvil y la visualización asistida.

En la Tabla 31, se observa los resultados que muestran una reducción significativa en los tiempos de búsqueda, así como la eliminación de eventos de no disponibilidad y errores de localización.

Tabla 31. Tiempos actuales de búsqueda por cada operario

Nº	Operario	Área de origen	Consumible requerido	¿Se encontró?	Tiempo total (min: seg)	Observaciones
1	Operario 1	Soldadura	Electrodo E308-L	Si	00:55	Búsqueda corta
2	Operario 1	Corte	Disco de corte	Si	00:58	Búsqueda corta
3	Operario 1	Acabado	Disco Flap	Si	01:00	Entrega normal
4	Operario 1	Corte	Disco de corte	Si	00:50	Búsqueda corta
5	Operario 1	Soldadura	Electrodo E308-L	si	01:00	Entrega normal

6	Operario 1	Acabado	Disco de pulir	Si	00:55	Búsqueda corta
7	Operario 2	Soldadura	Electrodo E308-L	Si	01:00	Entrega normal
8	Operario 2	Corte	Disco de corte	Si	00:55	Búsqueda corta
9	Operario 2	Acabado	Disco de pulir pequeño	Si	00:55	Búsqueda corta
10	Operario 2	Acabado	Disco de pulir pequeño	Si	01:00	Entrega normal
11	Operario 2	Acabado	Disco flap	Si	01:00	Entrega normal
12	Operario 2	Corte	Disco de corte	Si	01:00	Entrega normal
13	Operario 3	Acabado	Disco flap	Si	00:55	Búsqueda corta
14	Operario 3	Acabados	Disco de corte	Si	01:00	Entrega normal
15	Operario 3	Soldadura	Electrodo E308-L	Si	01:10	Entrega normal
16	Operario 3	Corte	Disco de corte	Si	00:45	Búsqueda corta
17	Operario 3	Acabados	Disco flap	Si	00:52	Búsqueda corta
18	Operario 3	Soldadura	Electrodo E308-L	Si	00:50	Búsqueda corta

5.4.2. Comparación de tiempos antes y después de la implementación.

Con la finalidad de evidenciar de forma más clara el efecto de la implementación del prototipo funcional sobre el proceso de búsqueda de consumibles, se presenta una tabla comparativa que consolida los tiempos registrados antes y después de la implementación bajo condiciones operativas equivalentes. Esta comparación permite observar de manera directa la variación temporal en cada evento de búsqueda, facilitando la interpretación del impacto del sistema propuesto sobre la reducción de tiempos improductivos y la mejora en la localización de insumos, los valores comparados corresponden a los registros obtenidos en la medición inicial del proceso manual y en la medición posterior realizada con apoyo del sistema inteligente de inventario.

Tabla 32. Comparación de tiempos de búsqueda antes y después de la implementación.

Nº	Operario	Tiempo antes (min: seg)	Tiempo después (min: seg)	Diferencia
1	Operario 1	01:20	00:55	-00:25
2		01:05	00:58	-00:07
3		01:15	01:00	-00:15
4		01:20	00:50	-00:30
5		02:00	01:00	-01:00
6		01:25	00:55	-00:30
7	Operario 2	02:10	01:00	-01:10
8		01:35	00:55	-00:40
9		01:55	00:55	-01:00
10		01:45	01:00	-00:45
11		02:05	01:00	-01:05
12		01:20	01:00	-00:20
13	Operario 3	01:00	00:55	-00:05
14		01:10	01:00	-00:10
15		01:50	01:10	-00:40

16		01:15	00:45	-00:30
17		02:15	00:52	-01:23
18		01:25	00:50	-00:35

Para complementar la comparación por evento, se presenta un resumen de los tiempos promedio y máximos por operario, con el propósito de identificar de manera global el comportamiento temporal antes y después de la implementación del sistema. Este análisis permite observar con mayor claridad la mejora operativa alcanzada en cada perfil de usuario y la disminución de eventos críticos asociados a la no localización de consumibles.

Tabla 33. Resumen comparativo de tiempos por operario antes y después de la implementación.

Operario	Registros	Tiempo promedio antes	Tiempo promedio después	Tiempo máximo antes	Tiempo máximo después
Operario 1	6	01:26	00:56	02:00	01:00
Operario 2	6	01:48	00:58	02:10	01:00
Operario 3	6	01:33	00:55	02:15	01:10

Los resultados comparativos evidencian una disminución general en los tiempos de búsqueda de consumibles después de la implementación del sistema. En la totalidad de los registros analizados se observa que los tiempos posteriores son menores respecto a los obtenidos en la situación inicial lo que permite inferir una mejora en la rapidez de localización y retiro de insumos. De igual manera, la reducción de los tiempos máximos y la mayor uniformidad en los registros posteriores reflejan un comportamiento mas estable del proceso con menor presencia de demoras asociadas a la búsqueda, verificación y disponibilidad de materiales. En conjunto estos hallazgos permiten sostener que la implementación del sistema contribuyo a mejorar el abastecimiento interno, disminuir tiempos improductivos y fortalecer la continuidad operativa del proceso.

5.4.3. Registro antes y después de la implementación

Antes

Errores detectados:

- No encontrar consumibles
- Mala ubicación
- Subida innecesaria a bodega
- Interrupción del trabajo productivo
- Doble recorrido operario-bodega

Después

- No se registran eventos de “no encontrado”
- No hay errores de ubicación
- Eliminación de recorridos innecesarios.

El análisis comparativo de errores evidencia que antes de la implantación del sistema existían fallas recurrentes asociadas a la localización y disponibilidad de los insumos generando tiempos muertos, desplazamientos innecesarios y reprocesos. Tras la implementación del sistema inteligente estos eventos fueron eliminados lo que demuestra una mejora sustancial a la confiabilidad del proceso logístico interno.

5.4.4. Aplicación de System Usability Scale (SUS)

Para evaluar la usabilidad del prototipo desarrollado se utilizó el System Usability Scale (SUS) un instrumento estandarizado ampliamente empleado para medir la percepción de la usabilidad en sistemas interactivos. El cuestionario está compuesto por diez enunciados con escala de respuesta tipo Likert de cinco puntos donde los ítems impares evalúan percepciones positivas del sistema y los pares identifican posibles dificultades o complejidad percibida.

La evaluación fue aplicada a el gerente y los 3 operarios con experiencia directa en el entorno de trabajo de la empresa considerando que según que él SUS permite obtener resultados estadísticamente representativos con muestras pequeñas especialmente en evaluaciones de prototipos funcionales y pruebas de usabilidad tempranas.

Enunciados:

- a. Creo que me gustaría utilizar este sistema con frecuencia
- b. Encontré el sistema innecesariamente complejo
- c. Pensé que el sistema era fácil de usar
- d. Creo que necesitaría el apoyo de un técnico para poder utilizar este sistema
- e. Encontré que las diversas funciones de este sistema estaban bien integradas
- f. Pensé que había demasiada inconsistencia en este sistema
- g. Me imagino que la mayoría de la gente aprendería a utilizar este sistema muy rápidamente
- h. Encontré el sistema muy complicado de usar
- i. Me sentí muy seguro usando el sistema
- j. Necesitaba aprender muchas cosas antes de empezar con este sistema

Respuestas disponibles:

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutro
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

A continuación, en la Tabla 34 se presentan las preguntas correspondientes al cuestionario SUS, junto con las respuestas obtenidas de los usuarios participantes, con el fin de evaluar la usabilidad del sistema desarrollado.

Tabla 34. Resultados de la evaluación mediante SUS

Enunciando	Respuestas			
	Gerente	Operario 1	Operario 2	Operario 3
Creo que me gustaría utilizar este sistema con frecuencia	4	5	5	4

Encontré el sistema innecesariamente complejo	2	1	1	2
Pensé que el sistema era fácil de usar	3	3	2	3
Creo que necesitaría el apoyo de un técnico para poder utilizar este sistema	1	1	2	1
Encontré que las diversas funciones de este sistema estaban bien integradas	4	4	4	4
Pensé que había demasiada inconsistencia en este sistema	2	2	3	2
Me imagino que la mayoría de la gente aprendería a utilizar este sistema muy rápidamente	4	5	5	5
Encontré el sistema muy complicado de usar	2	2	2	1
Me sentí muy seguro usando el sistema	4	4	4	4
Necesitaba aprender muchas cosas antes de empezar con este sistema	2	2	1	2
Total	28	29	29	28

La evaluación de la usabilidad del sistema se realizó mediante la aplicación de la escala System Usability Scale (SUS) al gerente y a tres operarios, considerando las respuestas emitidas en los diez ítems del instrumento. Para el análisis, se diferenciaron los enunciados positivos (ítems impares) y los negativos (ítems pares), conforme al procedimiento metodológico establecido para el cálculo del puntaje SUS.

En los ítems impares, las respuestas evidenciaron una percepción favorable respecto a la facilidad de uso, la integración de funciones y la confianza al interactuar con el sistema. Los valores obtenidos evidencian que los usuarios valoraron que el prototipo puede utilizarse con frecuencia y sin mayores dificultades, lo que sugiere un nivel adecuado de aceptación del sistema propuesto.

Por su parte los ítems pares que son orientados a identificar complejidad, inconsistencias, dificultades de aprendizaje o necesidad de asistencia técnica, presentaron puntuaciones que reflejan baja percepción de barreras durante el uso. Este resultado sugiere que el sistema no es percibido como innecesariamente complejo ni difícil de aprender, lo cual refuerza la valoración positiva de su usabilidad.

A partir del procesamiento de las respuestas individuales, se obtuvo un puntaje SUS por participante de 75, 82.5, 77.5 y 80 puntos respectivamente, observándose así una tendencia homogénea en la evaluación del sistema por parte de los usuarios finales. El puntaje promedio alcanzado fue de 78.75 puntos, el cual se sitúa por encima del umbral de aceptabilidad convencional establecido en 68 puntos y corresponde a un nivel de usabilidad alto. Como se aprecia en la Figura 43, este valor se ubica en la zona de interpretación “Aceptable”, lo que indica que el sistema es percibido como comprensible, funcional y de fácil interacción.

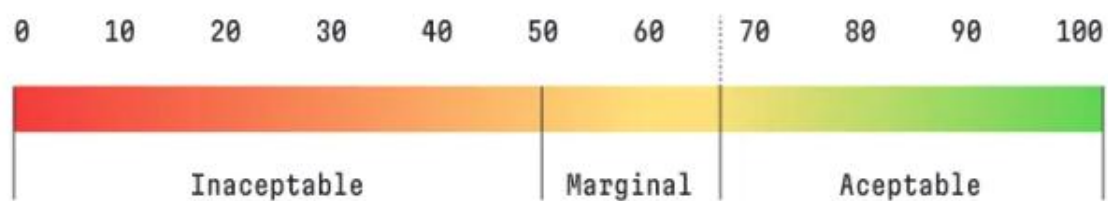


Figura 43. Interpretación del puntaje promedio en la escala SUS

Los resultados muestran que el prototipo no solo cumple con los requerimientos funcionales del sistema de inventario, sino que además presenta una interfaz intuitiva, facilitando su adopción por parte de los usuarios. Este componente es crítico, ya que una usabilidad elevada favorece la reducción de tiempos de búsqueda y contribuye a la mejora de la eficiencia operativa observada tras la implementación del sistema.

Los resultados obtenidos demuestran que la implementación del sistema inteligente de inventario tuvo un impacto positivo y medible en la eficiencia logística de la empresa. La reducción de tiempos de búsqueda la eliminación de errores operativos y la alta aceptación del sistema por parte de los usuarios evidencian que la solución propuesta cumple con los objetivos planteados, optimizando el flujo de trabajo y reduciendo los tiempos improductivos asociados a la gestión de consumibles.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

El diagnóstico del proceso de inventarios evidenció ineficiencias operativas relevantes caracterizadas por variabilidad marcada en los tiempos de búsqueda y por la presencia recurrente de eventos de “no encontrado”, alcanzando proporciones de 16.7%, 50% y 33.3% según el registro por operario con los tiempos máximos de búsqueda de hasta 02:15, lo que demuestra ausencia de estandarización en la localización y control de consumibles generando tiempos improductivos que afectan el desempeño del abastecimiento interno y la continuidad del flujo de operación.

El diseño de la arquitectura tecnológica definió una solución integrada, modular y escalable para la gestión de inventarios en tiempo real estructurada en una capa de adquisición basada en celdas de carga con HX711 y ESP32, una capa de comunicación mediante MQTT por su modelo publicador/suscriptor y una capa de visualización en Unity con Vuforia para realidad aumentada permitiendo el flujo continuo de datos desde la medición de peso hasta su representación digital, adicionalmente la selección tecnológica se sustenta en el análisis comparativo donde el HX711 alcanzó el mayor puntaje total y MQTT el mayor puntaje ponderado, justificando técnicamente su elección para garantizar compatibilidad, desempeño y facilidad de integración con la aplicación.

El desarrollo del prototipo permitió materializar la arquitectura propuesta mediante la integración operativa de los componentes hardware-software, el sistema adquiere el peso desde múltiples sensores conectados al ESP32, publica los valores a través de MQTT en tópicos definidos y la aplicación móvil en Unity/Vuforia se suscribe a dichos tópicos para actualizar en tiempo real la interfaz y el dashboard, incorporando además la conversión de peso a unidades y la visualización del inventario en la escena de realidad aumentada, las pruebas realizadas evidencian conectividad y recepción continua de datos confirmando que el prototipo es funcional y cumple con el flujo completo de captura, transmisión y visualización requerido para apoyar el proceso de localización y control de consumibles.

La evaluación del sistema evidenció una mejora operativa al comparar el escenario posterior a la implementación con la línea base, reflejándose en la reducción de tiempos de búsqueda y en la mejora del desempeño del abastecimiento interno, mientras que, desde la perspectiva de aceptación del usuario el sistema obtuvo un puntaje promedio

SUS de 78.75, valor que se ubica por encima del umbral de aceptabilidad (68), indicando que la solución es usable y viable para su adopción en el entorno de bodega con capacidad de obtener el beneficio operativo medido bajo las condiciones de prueba definidas

6.2.RECOMENDACIONES

Estandarización de almacenamiento y localización: implementar codificación de ubicaciones y señaléticas para disminuir la variabilidad de tiempos de búsqueda y reducir los eventos de “no encontrado” evidenciados en la línea base.

Control operativo de existencias: incorporar verificación sistemática de disponibilidad antes del retiro para disminuir la ocurrencia de “no encontrado” que genere tiempos improductivos en el proceso actual.

Estandarización de integración en la arquitectura: definir como estándar institucional la estructura de tópicos y el formato de mensajes MQTT para asegurar consistencia del flujo de datos entre adquisición (ESP32), comunicación (bróker) y visualización (app).

7. REFERENCIAS

- [1] A. A. Tubis, J. Rohman, A. A. Tubis, y J. Rohman, «Intelligent Warehouse in Industry 4.0—Systematic Literature Review», *Sensors*, vol. 23, n.º 8, abr. 2023, doi: 10.3390/s23084105.
- [2] A. Jarašūnienė, K. Čižiūnienė, A. Čereška, A. Jarašūnienė, K. Čižiūnienė, y A. Čereška, «Research on Impact of IoT on Warehouse Management», *Sensors*, vol. 23, n.º 4, feb. 2023, doi: 10.3390/s23042213.
- [3] L. Vicente, S. Delabrida, M. Silva, A. Santana, y R. Oliveira, «Industry 4.0: Wearable IoT Device Applied to Warehouse Management», en *Proceedings of the 26th International Conference on Enterprise Information Systems*, Angers, France: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2024, pp. 532-539. doi: 10.5220/0012736300003690.
- [4] R. Reif y W. A. Günthner, «Pick-by-vision: An Augmented Reality supported picking system», en *Int. Conf. Cent. Eur. Comput. Graph., Visualization Comput. Vis., WSCG - Co-oper. EUROGRAPHICS, Full Pap. Proc.*, 2009, pp. 57-64.
- [5] A. Windhausen, J. Heller, T. Hilken, D. Mahr, R. Di Palma, y L. Quintens, «Exploring the impact of augmented reality smart glasses on worker well-being in warehouse order picking», *Comput. Hum. Behav.*, vol. 155, p. 108153, jun. 2024, doi: 10.1016/j.chb.2024.108153.
- [6] Ó. Blanco-Novoa, T. M. Fernández-Caramés, P. Fraga-Lamas, y M. A. Vilar-Montesinos, «A Practical Evaluation of Commercial Industrial Augmented Reality Systems in an Industry 4.0 Shipyard», *IEEE Access*, vol. 6, pp. 8201-8218, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2802699.
- [7] L. Zhen y H. Li, «A literature review of smart warehouse operations management», *Front. Eng. Manag.*, vol. 9, n.º 1, pp. 31-55, mar. 2022, doi: 10.1007/s42524-021-0178-9.
- [8] M. Živičnjak, K. Rogić, y I. Bajor, «Augmented reality technologies application in the warehouse system», *Transp. Res. Procedia*, vol. 83, pp. 35-42, 2025, doi: 10.1016/j.trpro.2025.02.007.
- [9] Y. M. Tang, W. T. Kuo, y C. K. M. Lee, «Real-time Mixed Reality (MR) and Artificial Intelligence (AI) object recognition integration for digital twin in Industry 4.0», *Internet Things*, vol. 23, p. 100753, oct. 2023, doi: 10.1016/j.iot.2023.100753.
- [10] «Redalyc.El estudio de inventarios en la cadena de suministros: Una mirada desde el subdesarrollo». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/257/25711784008.pdf>
- [11] «(PDF) Internet of Things (IoT) Applications in Grocery Retail: Smart Stores and Inventory Management», ResearchGate. Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/385079814_Internet_of_Things_IoT_Applications_in_Grocery_Retail_Smart_Stores_and_Inventory_Management
- [12] L. A. P. Alvarado *et al.*, «ESTUDIO DE LA GESTIÓN DE INVENTARIO PARA EL INCREMENTO DE PRODUCTIVIDAD EN UNA EMPRESA INDUSTRIAL», 31 de agosto de 2023, *Zenodo*. doi: 10.5281/ZENODO.8306393.
- [13] Y. Chen, «Optimizing the efficiency and cost of enterprise logistics warehouse: From the perspective of green supply chain management», *Innov. Green Dev.*, vol. 4, n.º 5, p. 100296, oct. 2025, doi: 10.1016/j.igd.2025.100296.
- [14] A. Reis, C. Souza, N. Costa, G. Stender, y N. Pizzolato, «Warehouse design: a systematic literature review», *Braz. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 14, p. 542, dic. 2017, doi: 10.14488/BJOPM.2017.v14.n4.a10.

- [15] M. Muñoz, M. Torres, J. D. Gil, y J. L. Guzmán, «An Internet of Things platform for heterogeneous data integration: Methodology and application examples», *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 240, p. 104197, ago. 2025, doi: 10.1016/j.jnca.2025.104197.
- [16] P. J. Readdy, A. Gunasekaran, y A. Spalanzani, «Bottom-up approach based on Internet of Things for order fulfillment in a collaborative warehousing environment», *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 159, pp. 29-40, ene. 2015, doi: 10.1016/j.ijpe.2014.02.017.
- [17] S. Taj, A. S. Imran, Z. Kastrati, S. M. Daudpota, R. A. Memon, y J. Ahmed, «IoT-based supply chain management: A systematic literature review», *Internet Things*, vol. 24, p. 100982, dic. 2023, doi: 10.1016/j.iot.2023.100982.
- [18] J. A. C. Jose *et al.*, «Smart Shelf System for Customer Behavior Tracking in Supermarkets», *Sensors*, vol. 24, n.º 2, ene. 2024, doi: 10.3390/s24020367.
- [19] Prof. Dr. S. A. Itkarkar, S. Kakade, y Siddhi, «IOT Based Smart Inventory Management System for Kitchen», *Int. Res. J. Adv. Eng. Manag. IRJAEM*, vol. 3, pp. 2989-2993, sep. 2025, doi: 10.47392/IRJAEM.2025.0475.
- [20] M. Javaid, A. Haleem, R. P. Singh, S. Rab, y R. Suman, «Significance of sensors for industry 4.0: Roles, capabilities, and applications», *Sens. Int.*, vol. 2, p. 100110, ene. 2021, doi: 10.1016/j.sintl.2021.100110.
- [21] A. Lagorio, V. D. Pasquale, C. Cimini, S. Miranda, y R. Pinto, «Augmented Reality in Logistics 4.0: implications for the human work», *IFAC-Pap.*, vol. 55, n.º 10, pp. 329-334, ene. 2022, doi: 10.1016/j.ifacol.2022.09.408.
- [22] «Barcena Orero Rebeca Elena.pdf». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/15245/Barcena%20Orero%20Rebeca%20Elena.pdf?sequence=1>
- [23] D. Fonseca, J. Gonzalez, y R. Rodríguez, «Implementación de la Realidad Aumentada en la Logística de Bodegas Automatizadas», *Rev. Innov. Desarro. Sosten.*, vol. 3, pp. 21-28, mar. 2023, doi: 10.47185/27113760.v3n2.109.
- [24] B. Schwerdtfeger *et al.*, *Pick-by-Vision: A First Stress Test*. 2009. doi: 10.1109/ISMAR.2009.5336484.
- [25] R. Palmarini, J. A. Erkoyuncu, R. Roy, y H. Torabmostaedi, «A systematic review of augmented reality applications in maintenance», *Robot. Comput.-Integr. Manuf.*, vol. 49, pp. 215-228, feb. 2018, doi: 10.1016/j.rcim.2017.06.002.
- [26] M. Alonso-Rosa, A. Gil-de-Castro, A. Moreno-Munoz, J. Garrido-Zafra, E. Gutierrez-Ballesteros, y E. Cañete-Carmona, «An IoT Based Mobile Augmented Reality Application for Energy Visualization in Buildings Environments», *Appl. Sci.*, vol. 10, n.º 2, ene. 2020, doi: 10.3390/app10020600.
- [27] L. Atzori, A. Iera, y G. Morabito, «The Internet of Things: A survey», *Comput. Netw.*, vol. 54, n.º 15, pp. 2787-2805, oct. 2010, doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.
- [28] R. Hoyos, «REVISTA MULTIDISPLINARY JOURNAL», 2021.
- [29] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, y M. Ayyash, «Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications», *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 17, n.º 4, pp. 2347-2376, 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2444095.
- [30] «Internet of things for smart factories in industry 4.0, a review», *Internet Things Cyber-Phys. Syst.*, vol. 3, pp. 192-204, ene. 2023, doi: 10.1016/j.iotcps.2023.04.006.
- [31] «Microsoft Word - IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Revision1_27MAY15.docx». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en:

- https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Revision1_27MAY15.pdf
- [32] «What are Load Cells and How Do They Work?», <https://www.dwyeromega.com/en-us/>. Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.dwyeromega.com/en-us/resources/load-cells>
- [33] «Celdas de carga». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://mx.omega.com/prodinfo/celdas-de-carga.html>
- [34] «Microsoft Word - hx71_english.doc». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf
- [35] M. Elhoseny, G. Ramírez-González, O. M. Abu-Elnasr, S. A. Shawkat, N. Arunkumar, y A. Farouk, «Secure Medical Data Transmission Model for IoT-Based Healthcare Systems», *IEEE Access*, vol. 6, pp. 20596-20608, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2817615.
- [36] «GESTIÓN DE LOS DOCUMENTOS INTERNOS». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.cem.es/sites/default/files/guia_ipfa_cem_0.pdf
- [37] «Microsoft Word - I Tema 2 Fundamentos de medición.doc». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/Documentos/I2_Fundamentos_de_medicion.pdf
- [38] W. Gai *et al.*, «Employing Shadows for Multi-Person Tracking Based on a Single RGB-D Camera», *Sensors*, vol. 20, n.º 4, feb. 2020, doi: 10.3390/s20041056.
- [39] J. Lee, B. Bagheri, y H.-A. Kao, «A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems», *Manuf. Lett.*, vol. 3, pp. 18-23, ene. 2015, doi: 10.1016/j.mfglet.2014.12.001.
- [40] «Tecnología de microcontrolador ESP32 para la Automatización Electrónica basado en el IoT – Instituto Superior Universitario Stanford». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://stanford.edu.ec/2023/11/09/tecnologia-de-microcontrolador-esp32-para-la-automatizacion-electronica-basado-en-el-iot/>
- [41] «Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8101926/figures#figures>
- [42] «ESP32 Datasheet». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://documentation.espressif.com/api/resource/doc/file/0zID7NzK/FILE/esp32_datasheet_en.pdf
- [43] N. Morató, «Usos industriales del ESP32: automatización y control IoT», *Tecnoloblog*. Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.tecnoloblog.com/usos-del-esp32-en-la-industria/>
- [44] D. Hercog *et al.*, «Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices», *Sensors*, vol. 23, n.º 15, jul. 2023, doi: 10.3390/s23156739.
- [45] «MQTT Version 3.1.1». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.html>
- [46] «Fundamentos de MQTT | Navixy | Documentation». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.navixy.com/docs/expert-center/es/vehicle-telematics-technology/connectivity/mqtt-fundamentals>
- [47] admin, «MQTT vs CoAP, the battle to become the best IoT protocol». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.pickdata.net/es/noticias/mqtt-vs-coap-mejor-protocolo-iot>

- [48] A. A. Hanif, M. Ilyas, A. A. Hanif, y M. Ilyas, «Effective Feature Engineering Framework for Securing MQTT Protocol in IoT Environments», *Sensors*, vol. 24, n.º 6, mar. 2024, doi: 10.3390/s24061782.
- [49] G.-Y. SINGH, «Securing MQTT Systems — MQTT Security Fundamentals», Medium. Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://yuvvi21.medium.com/securing-mqtt-systems-mqtt-security-fundamentals-3bfc5ada5736>
- [50] «MQTT Security Fundamentals: How to secure MQTT in IoT | HiveMQ». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.hivemq.com/mqtt/mqtt-security-fundamentals/>
- [51] «Visualización de datos con Realidad Aumentada en Industria». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.innovae.com/visualizacion-de-datos-realidad-aumentada/>
- [52] «Articulo8.pdf». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/fade/public/docs/contauditar/Articulo8.pdf>
- [53] «(PDF) A Survey of Augmented Reality», *ResearchGate*, dic. 2025, doi: 10.1561/1100000049.
- [54] J. Carmigniani, B. Furht, M. Anisetti, P. Ceravolo, E. Damiani, y M. Ivkovic, «Augmented reality technologies, systems and applications», *Multimed. Tools Appl.*, vol. 51, n.º 1, pp. 341-377, ene. 2011, doi: 10.1007/s11042-010-0660-6.
- [55] «(PDF) Augmented Reality Application Development using Unity and Vuforia», *ResearchGate*, ago. 2025, doi: 10.7906/indecs.21.1.6.
- [56] «Unity: el motor que impulsa la creación de videojuegos y experiencias interactivas en 2025 - Aufiero Informática». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.aufieroinformatica.com/unity-desarrollo-videojuegos-experiencias-interactivas-2025/>
- [57] J. H. Heizer y B. Render, *Principios de administración de operaciones*, 7a ed. México: Pearson Educación, 2010.
- [58] «NOM_ISO_9001-2015.pdf». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.buap.mx/rcontraloria/public/inf_public/2019/0/NOM_ISO_9001-2015.pdf
- [59] R. S. Aguilar-Savén, «Business process modelling: Review and framework», *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 90, n.º 2, pp. 129-149, jul. 2004, doi: 10.1016/S0925-5273(03)00102-6.
- [60] «referencia para tesis».

ANEXOS

Formato para el levantamiento de procesos

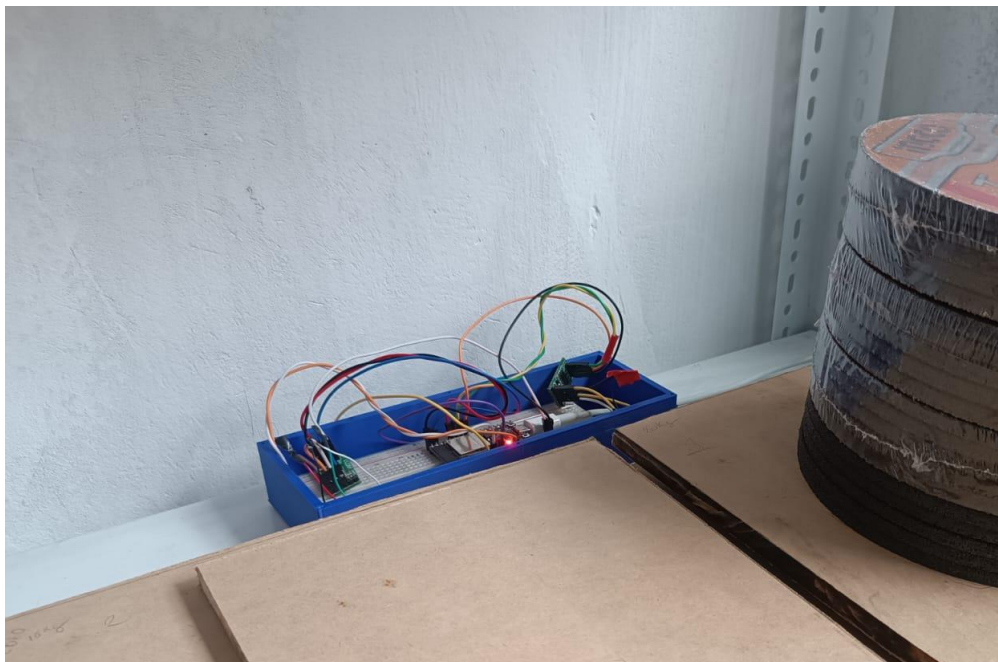
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"><i>LOGO DE LA EMPRESA</i></div>		Proceso	
		Código	
Objetivo			
Entrada			
Recursos			
Salida			
N°	Actividad	Descripción	
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Formato de registros de tiempos

N°	Operario	Trabajo	Consumible	Localización si / no	Tiempo	Observaciones
1		Soldadura				
2		Corte				
3		Acabado				
4		Corte				
5		Soldadura				
6		Acabado				

7		Soldadura				
8		Corte				
9		Acabado				
10		Acabado				
11		Acabado				
12		Corte				
13		Acabado				
14		Acabados				
15		Soldadura				
16		Corte				
17		Acabados				
18		Soldadura				

Conexión de los sensores de peso con el microcontrolador ESP32



Montaje del sistema físico y sus marcadores en la empresa Dobladoras Cotopaxi



Capacitación a los operarios de la empresa Dobladoras Cotopaxi sobre el uso de la aplicación realizada en Unity



Funcionalidad total del sistema implementado



Aval de la empresa



AVAL DE LA EMPRESA

Latacunga, enero 2026

Tglo. Rubén Anchatuña
Gerente General
Dobladoras Cotopaxi

Presente.

En mi calidad de Gerente General de la empresa **Dobladoras Cotopaxi**, ubicada en la ciudad de Latacunga, me permito avalar el Proyecto de Investigación y Propuesta Tecnológica titulado: "**Diseño de un sistema inteligente para el manejo de bodegas en Dobladoras Cotopaxi**", desarrollado por los estudiantes: **Angelin Yomara Alarcón Curay** y **Eduardo Javier López Ortiz**, de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Técnica de Cotopaxi, como parte de su trabajo de titulación.

Mediante la presente se deja constancia de que la propuesta tecnológica fue implementada y puesta en funcionamiento, evidenciando resultados satisfactorios y cumpliendo con los objetivos planteados. El sistema desarrollado demostró ser funcional, eficiente y acorde a las necesidades operativas de la empresa, contribuyendo a la mejora en el manejo y control de la bodega.

Por tal motivo, Dobladoras Cotopaxi manifiesta su conformidad y satisfacción con el trabajo realizado, destacando el compromiso, responsabilidad y aporte técnico brindado por los estudiantes durante el desarrollo del proyecto.

En virtud de lo expuesto, la empresa avala el presente trabajo para los fines académicos y legales que los interesados consideren pertinentes.

Atentamente,

Tglo. Rubén Anchatuña
Gerente General
Dobladoras Cotopaxi
C.I.: 0506382187

 **DOBLADORAS COTOPAXI**
RUC: 0502382187001
Tel: 2292449 / Cel: 0984988355
Latacunga, Ecuador

Carta de aceptación del artículo

ICTIS
THAILAND 2026

11th INTERNATIONAL CONFERENCE ON
INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY
FOR INTELLIGENT SYSTEMS

9 - 11 APRIL, 2026
BANGKOK, THAILAND

Dear Jose E. Naranjo, Eduardo J. Lopez, Angelin Y. Alarcon and Marco Riofrio-Morales

Date : 11th March 2026

Paper ID : 688

Title : Design of an intelligent warehouse management system at Dobladoras Cotopaxi

Greetings .. !!

Congratulations! On behalf of the Program Committee of ICTIS 2026 – Thailand, we are pleased to inform you that your paper has been accepted for oral presentation at the conference and for publication in the Springer LNNS (Lecture Notes in Networks and Systems) series, subject to the fulfillment of all required guidelines set by Springer. Please note that an accepted paper will be published in the Springer proceedings only if the final (camera-ready) version is submitted along with the payment details, including the transaction reference number, and meets the quality standards prescribed by Springer. We extend our warm congratulations and look forward to your participation in ICTIS 2026.

Please follow the instructions in different sections for registration and participation -

Section A - Preparation of CRC (Camera-Ready Copy) – Final Manuscript for Springer (LNNS Series)

As an author you are requested to strictly adhere to the following points during the preparation of the final manuscript (CRC) to avoid any last-minute revert backs or objections from the publisher (Springer).

1. Format your paper using the official Springer template available at <https://ictisthailand.com/call-for-papers.html#downloads>, and submit the final camera-ready copy (CRC) as a PDF without page numbers, headers, or footers.
2. In the author section, include only names, college/organization, city, and emails; do not mention designations, photos, or biographies.
3. Incorporate all reviewer comments into the final CRC, as no further review will be conducted after submission.
4. Ensure the manuscript is original, accurate, and free from plagiarism; rewrite any flagged content, and take full responsibility for the paper's correctness and integrity.
5. Use proper citations by placing them close to the referenced text, enclosing copied text in quotation marks, and obtaining permissions for reused figures or tables with proper credit.
6. Format all references completely and correctly as per Springer guidelines, ensuring every reference listed is cited in the body of the paper.
7. Author names cannot be added or removed before final submission; no changes will be allowed at the proof stage, and submission implies all co-authors agree to the content and submission.

Section B - Author(s) Registration and Payments

1. Each paper must be registered for the inclusion of the paper in Springer LNNS.
2. USD \$60 Extra registration charges per page apply for papers exceeding 10 pages (after Springer formatting). Payment must cover both the registration fee and extra page registration fee otherwise, the paper will not be forwarded to Springer for publication.

Local Organizing Partner



International Organizing Partner



International Managing Partner



Publication Partner

SPRINGER NATURE

3. Registration covers only one author per paper. Additional co-authors wishing to attend must register separately as participants.
4. The registered/corresponding author must present the paper at the conference. If unavailable, a co-author may present on their behalf. If no author can attend, prior permission must be obtained from the organizers. Note that presentation certificates will not be issued if no author is present, even if the paper is published.
5. The paper will not be uploaded to Springer unless full payment, including any extra page charges, is received.
6. Payment and registration must be completed online through the conference registration page: <https://ictisthailand.com/registration.php>
7. All authors are required to comply with the General Participation Policy, Terms and Conditions, Refund & Cancellation Policy, Payment Policy, Privacy Policy, and Publication Policy available on the registration page.

Section C - Final Submission / Camera Ready Copy (CRC) Preparation

1. Rename your final paper (PDF) and source file (Word or LaTeX) with your "Paper ID-ICTIS 2026", place them in a folder named after your Paper ID-ICTIS 2026, and zip it.
2. Email the zipped file along with your Online transfer Reference number / Bank Transfer Details to support@ictisthailand.com with the subject: "Final Submission ICTIS 2026 - PAPER ID,Thailand."
3. After payment verification, you will be guided on the next steps to sign the Consent to Publish form along with the confirmation of participation.

Section D - Consent to Publish (CTP) Instructions

1. The Conference Team will share the completed Consent to Publish (CTP) form with the corresponding author. (If multiple corresponding authors are listed in EasyChair, the first author will be considered the corresponding author.)
2. Print the CTP form, verify all details (paper title, author names, affiliations), and have it signed by the corresponding author on behalf of all co-authors. Include the date of signing.
3. Scan the signed form, convert it to PDF, rename the file as "CTP ICTIS 2026 – Paper ID", and email it to support@ictisthailand.com with the subject line: "CTP - ICTIS 2026 – PAPER ID, Thailand."
4. The paper will proceed to the production phase upon successful completion of all the above-mentioned guidelines.

Section E - Venue / Invitations

1. The ICTIS 2026 conference will be conducted in hybrid mode. The physical interactive sessions for ICTIS 2026 will be held on 10 - April 2026 at Bangkok Marriott Hotel Sukhumvit, Sukhumvit Thonglor, 2, Sukhumvit Road Soi 57, Klongtan-Nua, Wattana, Bangkok 10110, THAILAND. The digital sessions will be held via Zoom Platform from 9 - 10 - 11 April 2026.
2. For International Participants, official conference invitations can be requested after the completion of the registration and confirmation of participation. You will be required to share the passport copy of the registered participant.
3. All Physically and digitally participating authors have to adhere to all terms and conditions on the registration page.

Local Organizing Partner



International Organizing Partner



International Managing Partner



Publication Partner

SPRINGER NATURE

Section F - Production Phase Instructions

1. Publishers will strictly enforce quality checks against plagiarism, tortured phrases, nonsensical or AI-rephrased/paraphrased text, and irrelevant references. Authors are advised to ensure their final submissions are clear, original, and professionally written before submission.
2. The conference publication data will be submitted to the publisher in the same month as the conference (under normal circumstances). Publishers will use smart screening tools to verify submissions before moving them to the production phase, where content is formatted into a proceedings book.
3. Once production is complete, corresponding authors will receive an email from the publisher's production team for proofreading, with a strict 72-hour deadline and no extensions. If missed, the content will proceed as editor's proof without further changes.
4. Organizers will notify corresponding authors once proofs are released.

Section G - Important Deadlines

1. Last Date for Registration and CRC Submission: The final deadline for completing your registration and submitting the Camera-Ready Copy (CRC) is 23 February 2026. This is a strict deadline, and no extensions will be provided under any circumstances.

2. Registration Confirmation: Confirmation of registration will be sent to the corresponding author within 3 working days after the final registration date. Please ensure that all submitted details and payment information are accurate to avoid delays. We would like to once again extend our heartfelt congratulations and look forward to welcoming you to Thailand for ICTIS 2026. On behalf of the Organizing /Program Committee, we thank you for your interest and participation. Kindly treat this letter as an official document for all conference-related activities, and quote your Paper ID and Title in any future correspondence.

If you have any queries or require assistance, please do not hesitate to contact us.

With regards and best wishes.
(Program Secretary, ICTIS 2026)
Email - support@ictisthailand.com

SUBMISSION: 688
TITLE: Design of an intelligent warehouse management system at Dobladoras Cotopaxi

----- REVIEW 1 -----

SUBMISSION: 688
TITLE: Design of an intelligent warehouse management system at Dobladoras Cotopaxi

----- Overall evaluation -----

SCORE: 2 (accept)

----- TEXT:

- The paper details the development of an intelligent warehouse management system for Dobladoras Cotopaxi, integrating IoT weight-sensing hardware with an Augmented Reality (AR) mobile interface for real-time stock tracking.

- The use of load cells and the HX711 module for weight-based inventory monitoring is a practical and highly accurate approach for tracking bulk industrial consumables, effectively automating the data entry process.

Local Organizing Partner



International Organizing Partner



International Managing Partner



Publication Partner

SPRINGER NATURE

3. Registration covers only one author per paper. Additional co-authors wishing to attend must register separately as participants.
4. The registered/corresponding author must present the paper at the conference. If unavailable, a co-author may present on their behalf. If no author can attend, prior permission must be obtained from the organizers. Note that presentation certificates will not be issued if no author is present, even if the paper is published.
5. The paper will not be uploaded to Springer unless full payment, including any extra page charges, is received.
6. Payment and registration must be completed online through the conference registration page: <https://ictisthailand.com/registration.php>
7. All authors are required to comply with the General Participation Policy, Terms and Conditions, Refund & Cancellation Policy, Payment Policy, Privacy Policy, and Publication Policy available on the registration page.

Section C - Final Submission / Camera Ready Copy (CRC) Preparation

1. Rename your final paper (PDF) and source file (Word or LaTeX) with your "Paper ID-ICTIS 2026", place them in a folder named after your Paper ID-ICTIS 2026, and zip it.
2. Email the zipped file along with your Online transfer Reference number / Bank Transfer Details to support@ictisthailand.com with the subject: "Final Submission ICTIS 2026 - PAPER ID,Thailand."
3. After payment verification, you will be guided on the next steps to sign the Consent to Publish form along with the confirmation of participation.

Section D - Consent to Publish (CTP) Instructions

1. The Conference Team will share the completed Consent to Publish (CTP) form with the corresponding author. (If multiple corresponding authors are listed in EasyChair, the first author will be considered the corresponding author.)
2. Print the CTP form, verify all details (paper title, author names, affiliations), and have it signed by the corresponding author on behalf of all co-authors. Include the date of signing.
3. Scan the signed form, convert it to PDF, rename the file as "CTP ICTIS 2026 – Paper ID", and email it to support@ictisthailand.com with the subject line: "CTP - ICTIS 2026 – PAPER ID, Thailand."
4. The paper will proceed to the production phase upon successful completion of all the above-mentioned guidelines.

Section E - Venue / Invitations

1. The ICTIS 2026 conference will be conducted in hybrid mode. The physical interactive sessions for ICTIS 2026 will be held on 10 - April 2026 at Bangkok Marriott Hotel Sukhumvit, Sukhumvit Thonglor, 2, Sukhumvit Road Soi 57, Klongtan-Nua, Wattana, Bangkok 10110, THAILAND. The digital sessions will be held via Zoom Platform from 9 - 10 - 11 April 2026.
2. For International Participants, official conference invitations can be requested after the completion of the registration and confirmation of participation. You will be required to share the passport copy of the registered participant.
3. All Physically and digitally participating authors have to adhere to all terms and conditions on the registration page.

Local Organizing Partner



International Organizing Partner



International Managing Partner



Publication Partner

SPRINGER NATURE

Section F - Production Phase Instructions

1. Publishers will strictly enforce quality checks against plagiarism, tortured phrases, nonsensical or AI-rephrased/paraphrased text, and irrelevant references. Authors are advised to ensure their final submissions are clear, original, and professionally written before submission.
2. The conference publication data will be submitted to the publisher in the same month as the conference (under normal circumstances). Publishers will use smart screening tools to verify submissions before moving them to the production phase, where content is formatted into a proceedings book.
3. Once production is complete, corresponding authors will receive an email from the publisher's production team for proofreading, with a strict 72-hour deadline and no extensions. If missed, the content will proceed as editor's proof without further changes.
4. Organizers will notify corresponding authors once proofs are released.

Section G - Important Deadlines

1. Last Date for Registration and CRC Submission: The final deadline for completing your registration and submitting the Camera-Ready Copy (CRC) is 23 February 2026. This is a strict deadline, and no extensions will be provided under any circumstances.

2. Registration Confirmation: Confirmation of registration will be sent to the corresponding author within 3 working days after the final registration date. Please ensure that all submitted details and payment information are accurate to avoid delays. We would like to once again extend our heartfelt congratulations and look forward to welcoming you to Thailand for ICTIS 2026. On behalf of the Organizing /Program Committee, we thank you for your interest and participation. Kindly treat this letter as an official document for all conference-related activities, and quote your Paper ID and Title in any future correspondence.

If you have any queries or require assistance, please do not hesitate to contact us.

With regards and best wishes.
(Program Secretary, ICTIS 2026)
Email - support@ictisthailand.com

SUBMISSION: 688
TITLE: Design of an intelligent warehouse management system at Dobladoras Cotopaxi

----- REVIEW 1 -----

SUBMISSION: 688
TITLE: Design of an intelligent warehouse management system at Dobladoras Cotopaxi

----- Overall evaluation -----

SCORE: 2 (accept)

----- TEXT:

- The paper details the development of an intelligent warehouse management system for Dobladoras Cotopaxi, integrating IoT weight-sensing hardware with an Augmented Reality (AR) mobile interface for real-time stock tracking.

- The use of load cells and the HX711 module for weight-based inventory monitoring is a practical and highly accurate approach for tracking bulk industrial consumables, effectively automating the data entry process.

Local Organizing Partner



International Organizing Partner



International Managing Partner



Publication Partner

SPRINGER NATURE

- The system architecture-linking ESP32 microcontrollers with MQTT and a Unity-based app-demonstrates a modern, scalable approach to industrial IoT that bridges the gap between physical hardware and digital management.
- The paper must include author names and future scope as per the Springer Publishing Template guidelines. Consider aligning it with these standards.
- The proposed solution significantly improved operational efficiency and record consistency, receiving a high System Usability Scale (SUS) score from evaluators, marking it as a viable alternative for modernizing SMEs.
- The 'Diagnosis' section includes a thorough ABC analysis; streamlining the general warehouse theory would allow for more technical depth regarding the MQTT communication latency and data packet loss during high-frequency updates.
- The references are thoroughly and accurately cited in accordance with the Springer Publishing Template guidelines.

----- REVIEW 2 -----

SUBMISSION: 688

TITLE: Design of an intelligent warehouse management system at Dobladoras Cotopaxi

----- Overall evaluation -----

SCORE: 2 (accept)

----- TEXT:

- This research explores a hybrid IoT-AR framework designed to mitigate manual errors and delays in warehouse operations through automated stock sensing and mobile visualization.
- Implementing an ABC analysis to prioritize critical consumables ensures that the IoT deployment is cost-effective, focusing high-tech monitoring on the items that have the most significant impact on operational continuity.
- The integration of an AR interface via Unity provides a superior user experience for material location, allowing warehouse staff to visualize stock levels and item locations directly in their physical environment.
- The study focuses on a specific industrial case; however, it lacks a detailed analysis of sensor calibration drift over time, which is a common challenge in heavy industrial environments where vibrations and dust are present.
- Findings confirm that the automated weight-sensing system reduces the time spent on manual inventory counts and material searching, leading to a more streamlined and reliable supply chain within the facility.
- The description of the HX711 module is very technical; merging this with the circuit design section would improve the narrative flow and focus the reader's attention on the innovative AR visualization features.

Local Organizing Partner



International Organizing Partner



International Managing Partner




Publication Partner

SPRINGER NATURE

CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD




En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el tema: "Diseño de un sistema inteligente para el manejo de bodegas en Dobladoras Cotopaxi", de Alarcón Curay Angelin Yomara y López Ortiz Eduardo Javier, de la carrera de Ingeniería Industrial, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto Turnitin, con un porcentaje de coincidencias del 8 %, 0% IA y, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.


 Página 2 de 126 - Descripción general de integridad Identificador de la entrega: trn:oid::1:3504641722

8% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

 Página 2 de 119 - Descripción general de la escritura con IA Identificador de la entrega: trn:oid::1:3504641722

*% detectado como IA

La detección de IA incluye la posibilidad de que haya falsos positivos. Aunque cierto texto en esta entrega se generó probablemente con IA, los puntajes inferiores al umbral del 20 % no aparecen porque tienen una mayor probabilidad de falsos positivos.

Precaución: Se necesita revisión.

Es esencial comprender los límites de la detección de IA antes de tomar decisiones acerca del trabajo del estudiante. Te alentamos a obtener más información acerca de las funciones de detección de IA de Turnitin antes de usar la herramienta.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Latacunga, 09 de marzo de 2026



Ing. José Ezequiel Naranjo Robalino MsC.

C.C.: 1804710463

TUTOR

REGISTRO DE ASISTENCIA SEMANALES A TUTORÍAS

Título del proyecto de titulación: Diseño de un sistema inteligente para el manejo de bodegas en Dobladoras Cotopaxi

Estudiantes: Angelin Yomara Alarcón Curay – Eduardo Javier López Ortiz

Cédula: 0550651384 - 0504082165

Semana	Fecha	Hora	Actividad	Firma Estudiante	Observaciones
2	14/10/2025	9:00 – 10:00 am	Revisión del tema, título, problema y objetivos de investigación.		Se revisó la coherencia del tema y objetivos.
3	21/10/2025	9:00 – 10:00 am	Revisión de la justificación y estructura general del documento.		Se sugirieron ajustes en la estructura.
4	28/10/2025	9:00 – 10:00 am	Revisión del marco teórico y de los antecedentes investigativos.		Se evidenció avance en la fundamentación teórica.
5	06/11/2025	9:00 – 10:00 am	Revisión de bases conceptuales y sustento bibliográfico del estudio.		Se recomendó fortalecer el sustento bibliográfico.
6	11/11/2025	9:00 – 10:00 am	Revisión del diseño metodológico de la investigación.		Se revisó la metodología planteada.

7	18/11/2025	9:00 – 10:00 am	Revisión de población, muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos.		Se ajustaron aspectos metodológicos.
8	25/11/2025	9:00 – 10:00 am	Seguimiento al avance del desarrollo de la propuesta tecnológica.		Se verificó coherencia con los objetivos.
9	02/12/2025	9:00 – 10:00 am	Revisión del diseño y funcionamiento del prototipo desarrollado.		Se evidenció avance en la propuesta.
10	09/12/2025	9:00 – 10:00 am	Revisión del avance de la aplicación y su articulación con el prototipo funcional.		Se revisó el funcionamiento del prototipo.
11	16/12/2025	9:00 – 10:00 am	Verificación del funcionamiento del prototipo y de la aplicación en relación con los objetivos del estudio.		Se verificó avance de la aplicación.
12	06/01/2026	9:00 – 10:00 am	Revisión de resultados obtenidos durante las pruebas de funcionamiento del sistema propuesto.		Se constató su relación con los objetivos.
13	13/01/2026	9:00 – 10:00 am	Seguimiento a las observaciones técnicas realizadas durante la validación del prototipo y ajuste de mejoras en la aplicación.		Se revisaron los resultados de las pruebas.



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI



FACULTAD DE
CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA Y APLICADAS

14	20/01/2026	9:00 – 10:00 am	Corrección de redacción, formato, citas, referencias y anexos.		Se recomendaron correcciones de forma.
15	27/01/2026	9:00 – 10:00 am	Elaboración de conclusiones y recomendaciones.		Correcciones de forma y estilo
16	03/02/2026	9:00 – 10:00 am	Revisión integral del documento final y del prototipo previo a la entrega o sustentación.		Se evidenció avance general favorable.

Porcentaje Total de Asistencia a tutorías	100%
---	------

Ing. José Ezequiel Naranjo Robalino MSc

TUTOR