



Universidad Andrés Bello
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil

**USO DE MACHINE LEARNING PARA MEDIR PRODUCTIVIDAD A
CUADRILLAS DE TRABAJO USANDO VIDEOS Y DETECCIÓN DE
IMÁGENES A TRAVÉS DE CARTAS DE BALANCE**

Memoria para optar al título de Ingeniero Civil

Autor
Macarena Carolina Lorca Madriaza

Profesor guía
Mauricio Toledo Villegas

Santiago, Chile
2022

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, en especial a mis padres Mario Lorca y Carolina Madriaza, por todo el esfuerzo y dedicación que realizan día a día, por todo el amor y apoyo incondicional.

A mi profesor Mauricio Toledo por acompañarme y guiarme durante todo este proceso.

INDICE

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 Problema observado	8
1.2 Intuición.....	8
1.3 Objetivo general	8
1.4 Objetivos específicos.....	8
1.5 Alcance	9
2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	9
2.1 Tareas de investigación.....	9
3. REVISIÓN DE LA LITERATURA	13
4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
4.1 Caso estudio.....	14
4.2 Taxonomía de posturas corporales	15
4.3 Etiquetado y entrenamiento de YOLO	17
4.3.1 Grabaciones para el entrenamiento	17
4.3.2 Etiquetado de imágenes para el entrenamiento	17
4.3.3 Entrenamiento de YOLO.....	18
4.4 Medición de productividad.....	20
4.4.1 Grabaciones cámara fija	20
4.4.2 Muestreo de imágenes	21
4.4.3 Detecciones con algoritmo YOLO	21
4.4.4 Cartas de Balance	22
4.5 Propuesta metodología	24
4.6 Validación.....	26
5. CONCLUSIONES	27
5.1 Contribución al conocimiento	29
5.2 Importancia práctica	29
5.3 Futuras investigaciones.....	29
REFERENCIAS	30
ANEXOS.....	32
ANEXO A	32

ANEXO B.....	33
ANEXO C.....	34
ANEXO D	35
ANEXO E.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:Método CIFE “Horseshoe”	10
Figura 2:Metodología de investigación	13
Figura 3: Edificio donde se realizó la investigación.....	15
Figura 4: Cuadrilla de carpinteros	15
Tabla 1: Taxonomía de actividad instalación moldaje de losas	16
Tabla 2: Duración de grabación de 360°	17
Figura 5: Set de imágenes etiquetadas para tarea de instalación de placas	17
Tabla 3: Total de imágenes etiquetadas para el entrenamiento	18
Figura 6:Dataset para la tarea de instalación de placas	18
Figura 7:Entrenamiento algoritmo YOLOv5.....	19
Figura 8: Precisión media (mAP 0.5)	19
Figura 9:Captura de grabaciones para cada una de las tareas	20
Figura 10:Detecciones del algoritmo YOLO.....	21
Figura 11: Resultadosde cartas de balance (IP).....	23
Tabla 4: Resumen de resultados de cartas de balance (IP).....	23
Figura 12: Proceso metodología para medir productividad con Machine Learning	25
Figura 13: Encuesta de validación.....	27

RESUMEN

Expertos y líderes en la industria de la construcción señalan que nuevas tecnologías basadas en algoritmos de inteligencia artificial son una de las prioridades y uno de los principales factores para aumentar la productividad. En Chile el crecimiento anual de la productividad durante las dos últimas décadas en el sector de la construcción no ha experimentado variación. Debido a esto se propone medir la productividad, a través de un algoritmo de Machine Learning, dado que los resultados adquiridos entregan información confiable y veraz aportando mejoras en los procesos constructivos y a la toma rápida de decisiones.

El proyecto de investigación se basa en el reconocimiento de posturas corporales de trabajadores de una cuadrilla de trabajo utilizando videos e imágenes con Machine Learning. El algoritmo YOLO se basa en técnicas de aprendizaje automático capaz de reconocer posturas corporales de los trabajadores, estas posturas se asocian a Trabajos Productivos y Contributorios, definidos previamente en una taxonomía que describe las posturas corporales.

El algoritmo YOLO se entrenó con un total de 1500 imágenes extraídas de 74 videos grabados en 360°, con un total de 5 horas de grabación a una cuadrilla de trabajadores involucrados en la actividad de instalación de moldaje de losas en la etapa de obra gruesa de un edificio habitacional de 16 pisos, ubicado en Av. Vicuña Mackenna, comuna de San Joaquín. El algoritmo presentó resultados experimentales de una precisión media (mAP 0.5) mayor al 85% para cada una de las tareas asociadas a la actividad.

Para la etapa de medición de productividad se utilizaron grabaciones realizadas con una cámara fija capturando la actividad completa, de estos videos se extrajeron imágenes cada 5 segundos. A partir del algoritmo YOLO entrenado se obtuvo como resultado las detecciones de las posturas corporales de los trabajadores para cada una de las tareas: instalación de encintado perimetral (IEP), instalación de puntales aplomados (IPA), instalación de vigas (IV) e instalación de placas (IP). Esta última tarea se describe en detalle durante el desarrollo de la investigación, ya que es la que obtuvo mejores resultados en cuanto al entrenamiento y diagnóstico.

Los resultados obtenidos por el algoritmo YOLO se presentaron en Cartas de Balance, herramienta que permite generar diagnósticos productivos de trabajo, identificando los tiempos de trabajos Productivos y Contributorios. Estas Cartas de Balance se compararon con las Cartas de Balance realizadas de forma manual, con el fin de saber qué tan bueno es el algoritmo para reconocer estas posturas corporales. Para la tarea de instalación de placas (IP) se obtuvo como resultado un 72% de imágenes detectadas por el algoritmo para el Trabajo Productivo, un 0% de imágenes detectadas para el Trabajo Contributorio y un 58% para el total de imágenes detectadas por el algoritmo.

Finalmente, la metodología propuesta se validó, a través de una encuesta realizada a 3 profesionales de terreno y 2 académicos que se desempeñan en el sector de la construcción. La encuesta promedió un total de 3.2 en la escala de Likert de 1 a 4. Los comentarios y observaciones se tomaron en cuenta para finalmente realizar la propuesta definitiva de la metodología de investigación.

ABSTRACT

Experts and leaders in the construction industry point out that new technologies based on artificial intelligence algorithms are one of the priorities, and one of the main factors to increase productivity. The annual productivity growth in the Chilean construction industry during the last two decades has not changed. Therefore, we propose to measure productivity using a Machine Learning algorithm that delivers reliable productivity information. This could help provide improvements in construction processes, and it could facilitate decision-making.

This research project is based on recognition of workers' body postures from a work crew using videos and images with Machine Learning. The YOLO algorithm is based on Machine Learning techniques capable of recognizing body postures of workers. These postures are associated with Productive and Contributory work, previously defined in a taxonomy that describes such body postures.

The YOLO algorithm was tested on 1500 images extracted from 74 videos recorded in 360 degrees using a GoPro action camera. We recorded over 5 hours of crew work doing the slab formwork installation process. Our experimental results have a mean average precision (mAP 0.5) greater than 85% for each of the tasks associated with the activity.

For the productivity measurement stage, recordings made with a fixed camera were used. We captured the complete activity and we extracted still images every 5 seconds. From the trained YOLO algorithm, the detections of the body postures of the workers for each of the tasks were obtained as a result: perimeter formwork installation (IEP), installation of support struts (IPA), installation of beams (IV) and installation of formwork boards (IP). This last task is described in detail during this research, since it showed the best results in terms of training and productivity diagnosis.

The results obtained by the YOLO algorithm were presented in Balance Charts, a tool that allows generating productive work diagnoses. It identifies time spent on Productive and Contributory work. These Balance Charts were compared with Balance Charts built manually, in order to know how good the algorithm is to recognize these body postures. For the installation of formwork boards (IP), We obtained a 72% of images detected by the algorithm for Productive Work, while 0% of images were detected for Contributory Work. A total of 58% of detections were achieved by the algorithm.

Finally, the proposed methodology was validated through a survey applied to 3 field professionals and 2 academic experts from the construction industry. The survey averaged a total of 3.2 on the Likert scale from 1 to 4. Their comments and observations were considered for the final proposal of the research methodology.

1. INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción es uno de los sectores más importantes en la economía de Chile. En los últimos diez años la industria de la construcción ha constituido en promedio el 6,5% del producto total de la economía chilena (Solminihaq, 2017).

El cambio por innovar hacia una construcción productiva permite mejorar márgenes de construcción con reducciones de costos de hasta un 7% (CChC, 2020). Por esto la importancia de la implementación de todas las tecnologías y metodologías que puedan asegurar un buen desempeño para obtener altos niveles de productividad, reduciendo errores, optimizando recursos en la cadena productiva y estandarizar procesos.

Hoy en día los algoritmos de inteligencia artificial están cumpliendo un rol fundamental en las industrias más tradicionales. La industria de la construcción no se encuentra ajena a esto haciendo usos en supervisión de peligros, detección de elementos de seguridad y recopilación de datos históricos para innovar en los futuros proyectos (Pampliega, 2019).

En el presente proyecto de investigación se busca medir el desempeño y productividad de los trabajadores de manera más objetiva, menos intensiva en cuanto a mano de obra, en un menor tiempo a partir de un algoritmo YOLO de Machine Learning, utilizando un proceso para mejorar la productividad en base a la observación (Oglesby, 1989). Se clasifican trabajos que agregan valor al avance de la actividad Trabajo Productivo (TP) y tareas que no agregan valor, pero son esenciales para terminar el trabajo llamado Trabajo Contributorio (TC) (Mora, 2009).

Para lograr la detección de posturas corporales relacionadas a Trabajo Productivo (TP) y Trabajo Contributorio (TC) de la actividad se realiza el entrenamiento del algoritmo YOLO a partir de imágenes extraídas de videos filmados en 360 grados, con el propósito de capturar todos los puntos de vista del trabajador. Las posturas corporales de los trabajadores son previamente definidas mediante una taxonomía para cada una de las tareas de la actividad.

Una vez entrenado el algoritmo, se captura la actividad de instalación de moldajes de losas con una cámara fija. Las imágenes son procesadas por el algoritmo YOLO entregando como resultado las detecciones de posturas corporales con el propósito de generar las Cartas de Balance para cada tarea. Estas son comparadas con las Cartas de Balance realizadas de forma manual para saber qué tan bien detectó el algoritmo las posturas corporales con el objetivo de dar a conocer los tiempos de trabajo.

Con las detecciones de posturas corporales entregadas por el algoritmo YOLO se obtiene como resultado las Cartas de Balance para cada tarea. Estas son comparadas con las cartas de balance realizadas de forma manual con el fin de saber qué tan bien detectó el algoritmo las posturas corporales, para luego medir y dar a conocer los tiempos de trabajo de cada trabajador durante la duración completa de la actividad. Estos resultados entregan información que aportan a la supervisión y monitoreo de las tareas para poder mejorar los índices de productividad.

1.1 Problema observado

Según un informe de Mckinsey, la industria de la construcción es uno de los sectores más importantes para la economía mundial, pero el crecimiento anual de la productividad en Chile en los últimos 20 años es 0% (McKinsey, 2020). Medir la productividad en las obras de construcción es ambiguo, toma mucho tiempo y es intensivo en cuanto a mano de obra.

1.2 Intuición

Mediante fotos y videos se entrena un algoritmo YOLO de Machine Learning para detectar posturas corporales de una cuadrilla de trabajo asociadas a Trabajos Productivos (TP) y Trabajos Contributorios (TC). A partir de los resultados se generan Cartas de Balance, las Cartas de Balance me entregan información para medir productividad obteniendo oportunidades de mejoras para aumentar la productividad, optimizar recursos, tiempo y mano de obra.

1.3 Objetivo general

Desarrollar una propuesta de investigación en un proyecto de construcción para medir la productividad de una cuadrilla de trabajo con un algoritmo YOLO basado en Machine Learning, mediante la captura de imágenes de posturas corporales de los trabajadores clasificadas en Trabajo Productivo (TP) y Trabajo Contributorio (TC), a partir de videos grabados a nivel de terreno. Con las imágenes detectadas por el algoritmo YOLO se busca representar los resultados en Cartas de Balance para medir productividad.

1.4 Objetivos específicos

- I. Identificar una taxonomía de posturas corporales de las tareas asociada a la actividad crítica: instalación de moldajes en la construcción de losas de hormigón armado.
- II. Capturar imágenes, a partir de videos grabados en 360 grados a nivel de terreno para el entrenamiento y videos grabados con una cámara fija para medir productividad.
- III. Etiquetar imágenes y entrenar el algoritmo YOLO para reconocer las posturas corporales de Trabajo Productivo y Contributorio para cada una de las tareas de la actividad.
- IV. Medir productividad, a través de las Cartas de Balance generadas de forma manual y por medio de las detecciones generadas por el algoritmo YOLO.
- V. Realizar una comparación entre las Cartas de balance generadas de forma manual y Cartas de Balance obtenidas por el algoritmo YOLO para verificar el desempeño del algoritmo.

1.5 Alcance

La metodología propuesta contempla ser realizada a una cuadrilla de carpinteros en la actividad de instalación de moldaje de losas. Se busca medir la productividad de manera eficiente con el algoritmo YOLO de Machine Learning, a partir de los resultados obtenidos de las detecciones de posturas corporales asociadas a Trabajos Productivos y Trabajos Contributorios representados en Cartas de Balance. Esta herramienta entregará información de distribución de tiempos dentro de la actividad.

2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología de investigación se desarrolló a partir del método de investigación CIFE “Horseshoe” (Fischer, 2006) detallado en la Figura 1.

El método se trabaja de forma iterativa en las diferentes etapas de trabajo, todas estas vinculadas entre sí, esto permite tener clara la información necesaria durante todo el desarrollo para finalmente obtener una metodología de investigación.

2.1 Tareas de investigación

Se contemplan 7 grandes etapas para las tareas de investigación descritas en la Figura 2.

Etapas 1: Revisión de la literatura

Se explica la revisión de la literatura para los temas más relevantes de la investigación: Productividad como contexto en las obras de construcción en Chile, Mapa de Cadena de Valor para el inicio del proceso de una partida, Machine Learning para la detección de imágenes con el uso del algoritmo YOLO, medición de productividad por medio de Cartas de Balance asociado a Trabajo Productivo (TP), Trabajo Contributorio (TC) y experiencias previas en la detección de productividad en construcción con Machine Learning.

Etapas 2.1: Definición de taxonomía preliminar para posturas corporales

A partir de un Mapa de Cadena de Valor, herramienta que permite identificar las actividades críticas en la construcción de losas de hormigón armado, se identificó la actividad de instalación de moldaje como actividad crítica en el proceso de construcción de losas de hormigón armado, luego se identificaron las tareas y posturas corporales de la actividad obteniendo como resultado la taxonomía preliminar, herramienta que describe posturas corporales asociadas a Trabajos Productivos y Trabajos Contributorios.

Etapas 2.2: Entrenamiento previo de YOLO

El entrenamiento preliminar de YOLO se realizó con el fin de aprender a utilizar el algoritmo, desde la etapa inicial del entrenamiento hasta el fin.

Para el uso de la herramienta se utilizó un video obtenido de YouTube para la actividad de instalación de moldaje de losas, del video se extrajeron las imágenes cada 5 segundos para luego ser etiquetadas y entrenar el algoritmo YOLO. Una vez entrenado el algoritmo se utilizaron otras imágenes que el algoritmo nunca haya visto para realizar las detecciones y así completar el procedimiento completo.

Etapas 3: Ajuste en terreno de tareas y taxonomía

Se realizó un ajuste de terreno para la taxonomía previamente definida en el punto 2.1. Se ajustaron las tareas, posturas corporales, herramientas y materiales asociadas a la actividad de instalación de moldaje de losas. Luego de la observación exhaustiva de todo el proceso de actividad se realizó la taxonomía definitiva.

Etapas 4: Etiquetado y entrenamiento de YOLO

Para el etiquetado y entrenamiento de YOLO se obtuvieron imágenes a partir de videos grabados en 360 grados a nivel de terreno con una cámara GoPro con movimiento alrededor del frente de trabajo, con el fin de capturar al trabajador en todas sus perspectivas. Una vez adquiridas las grabaciones se extrajeron las imágenes cada 5 segundos para posteriormente ser etiquetadas. Se utilizó un total de 1.500 imágenes para entrenar el algoritmo YOLO, obteniendo como resultado los respectivos indicadores de desempeño mAP para cada una de las tareas.

Etapas 5: Medición de productividad

Para medir productividad se realizaron grabaciones de la actividad completa con una cámara fija GoPro. Se extrajeron imágenes de estos videos para ser procesadas por el algoritmo YOLO obteniendo como resultado las detecciones de las posturas corporales para cada una de las tareas. Se comparan las Cartas de Balance realizadas con las detecciones entregadas por el algoritmo YOLO y las Cartas de Balance realizadas de forma manual.

Etapas 6: Propuesta preliminar

Se realizó una propuesta preliminar del proyecto de investigación basada en el aprendizaje obtenido en el caso estudio respecto a la medición de productividad para una cuadrilla de trabajo usando videos y detección de imágenes con un algoritmo YOLO de Machine Learning.

Etapas 7: Validación

Se realiza una validación de la metodología preliminar con una encuesta de ocho preguntas. Se presentó el proyecto de investigación a personas académicas y a profesionales de terreno relacionados al área de la construcción, con el fin de recibir sus opiniones y recomendaciones. Finalmente se tomaron los resultados para realizar una propuesta definitiva de investigación.

Las etapas de la Metodología de Investigación se ven en el diagrama de la Figura 2.

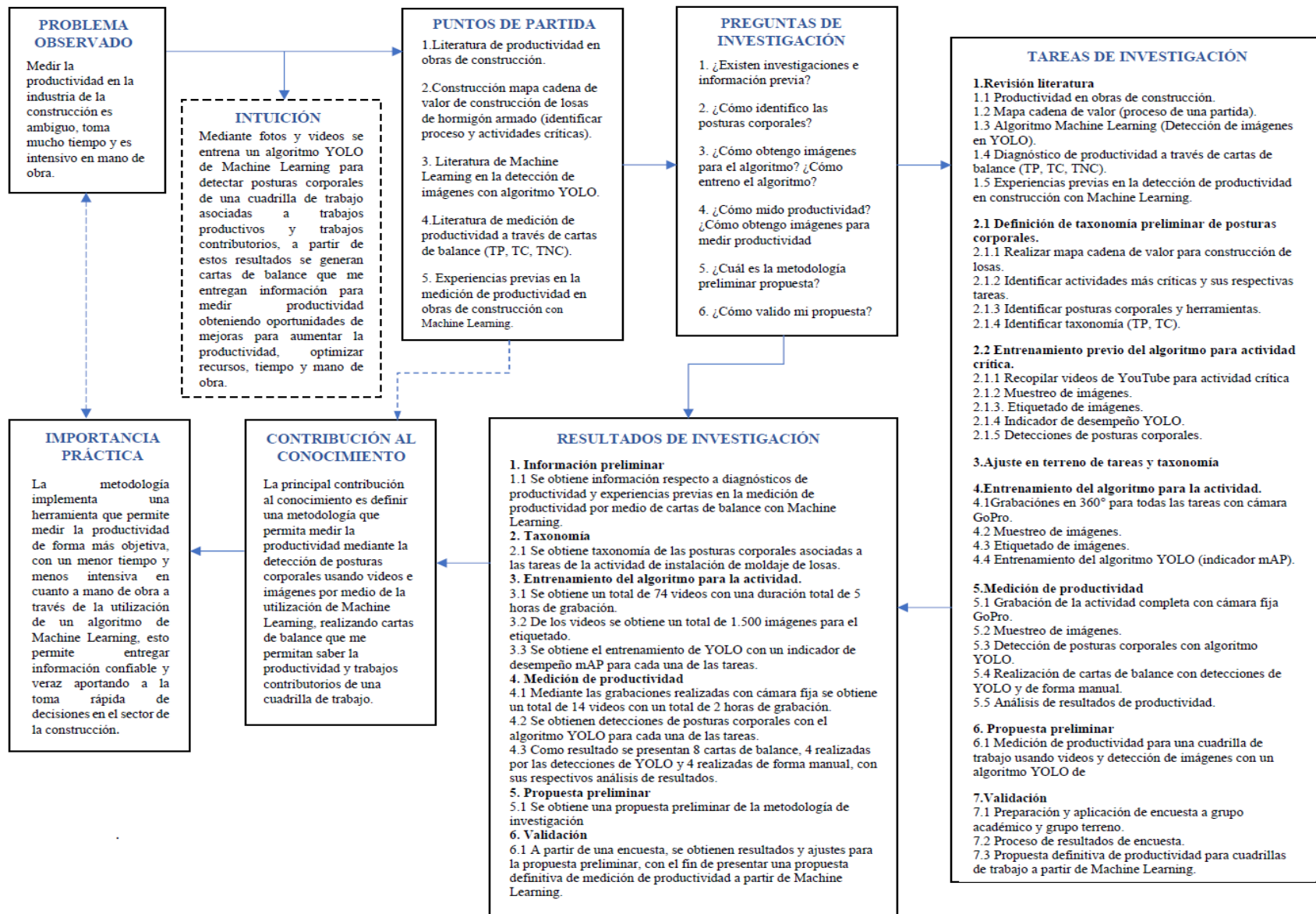


Figura 1: Método CIFE “Horseshoe”. Esquema del método a utilizar trabajo consistente y coherente entre todos sus puntos.

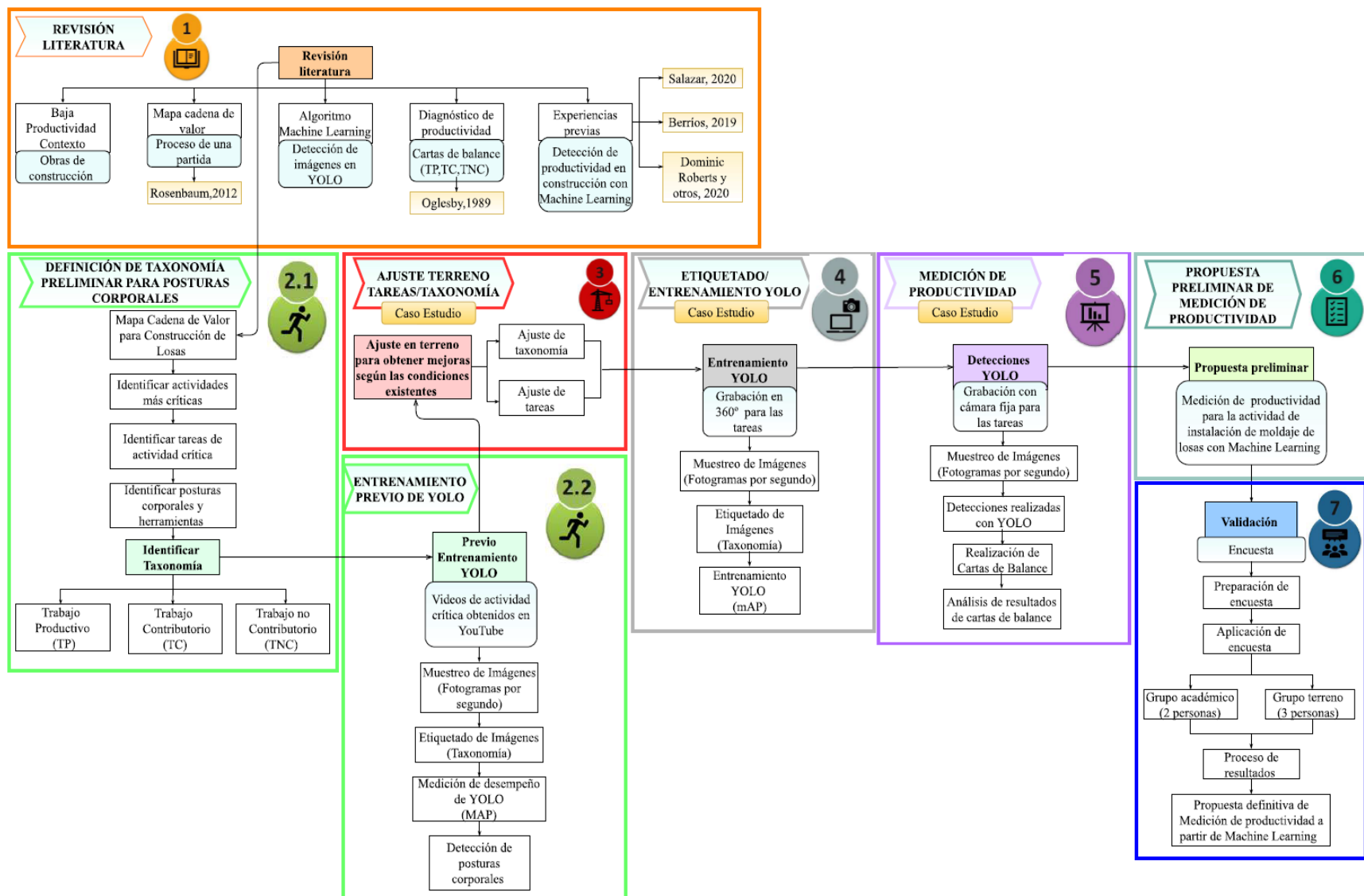


Figura 2: Metodología de investigación. Esquema que describe el proceso de la metodología.

3. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La industria de la construcción es uno de los sectores económicos más importantes, representa alrededor del 7% del PIB. Emplea a cerca del 10% de los trabajadores representando las más altas tasas de crecimiento en la cantidad de empresas y trabajadores (CNP, 2020).

Entre el año 2000 y 2018 el incremento de la productividad laboral de la economía chilena aumentó un 20%, en cambio la del sector de la construcción prácticamente no experimentó variación (CChC, 2020). Por esto existe la necesidad de impulsar la productividad de la construcción en Chile mediante el desarrollo de nuevas tecnologías, a través de la innovación con la utilización de algoritmos de inteligencia artificial, sin embargo, la construcción no se encuentra ajena a esto, expertos y líderes de la industria en países referentes señalan a la tecnología dentro de las prioridades para aumentar la productividad (CChC, 2020).

Las problemáticas que afectan la productividad tienen múltiples causas que se identifican a lo largo de la cadena de valor. El mapa de cadena de valor es una herramienta que describe el flujo de actividades ejecutadas para entregar un producto a un cliente. Estas actividades pueden agregar valor o no a la cadena de valor. En el sector de la construcción, las actividades que generan un avance directo son las que agregan valor y las esperas, traslados innecesarios y reprocesos son definidas como actividades que no agregan valor. La metodología se utiliza para detectar y eliminar pérdidas en un proceso (Ronsenbaum, 2012). Medir la productividad e identificar tiempos de Trabajo Productivo y Trabajo Contributorio para una actividad crítica es de suma importancia a la hora de tomar decisiones para obtener mejoras en cuanto a recursos y tiempos. La metodología se utilizará para el proceso de hormigonado de losas, siendo la actividad más crítica la instalación de moldaje de losas utilizada para esta investigación.

Dentro de la inteligencia artificial existe una rama que es Machine Learning (aprendizaje automático), dentro de las cuales se destaca el algoritmo YOLOv5, capaz de realizar detecciones de objetos en imágenes o videos para un uso personalizado en tiempo real (Solawetz, 2020). Al momento de realizar detecciones de objetos con el algoritmo, la precisión media promedio mAP es el parámetro más relevante para evaluar el desempeño. El mAP es una medida del algoritmo capaz de predecir el nivel de confianza de las detecciones y con esta métrica podemos ser capaces de escoger un mejor modelo o entrenamiento para posteriormente realizar las detecciones. Se habla de un buen entrenamiento cuando la métrica mAP es mayor a un 65%. (Nelson, 2020).

Para poder realizar las detecciones de posturas con el algoritmo YOLO, se define una taxonomía que describe las posturas corporales de la actividad. La taxonomía de cada postura corporal se define según las posturas corporales que más se repiten en cada tarea (Salazar, 2020).

La Carta de Balance es una herramienta que nos ayuda a generar un informe en cuanto a la distribución de tiempos de cada trabajador en una cuadrilla de trabajo dentro de una actividad.

Esta se genera mediante clasificaciones de productividad y definen las actividades individuales que realizan los trabajadores, a su vez se clasifican en tres categorías; Trabajo Productivo, Trabajo Contributorio y Trabajo no Contributorio (Oglesby, 1989).

- I. Trabajo Productivo (TP): Son tareas directamente involucradas en el proceso que agregan valor a lo que se está construyendo, son las más importantes debido a que una mala ejecución puede afectar al avance del proyecto.
- II. Trabajo Contributorio (TC): Tareas esenciales que generan avance a la actividad, pero no agregan valor.
- III. Trabajo no Contributorio (TNC): Tareas que no agregan valor ni son esenciales, solo generan retraso en la actividad.

Las detecciones de posturas corporales obtenidas por YOLOv5 serán utilizadas para generar Cartas de Balance, herramienta que nos ayudará a medir la productividad con la finalidad de obtener información objetiva, en un menor tiempo ayudando a la toma de decisiones y mejorar la productividad de una partida. Se identificará el Trabajo Productivo (TP) y Trabajo Contributorio (TC), para esta investigación se asume que todo lo que no se detecta corresponde a Trabajo no Contributorio (TNC).

4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Se presentan los resultados de la investigación que contempla la metodología. Se presenta el caso estudio, la taxonomía, el etiquetado y entrenamiento de YOLO, diagnósticos de productividad y validación.

4.1 Caso estudio

La investigación se realizó en un edificio de hormigón armado ubicado en Av. Vicuña Mackenna #3897 en la comuna de San Joaquín. El edificio es de uso habitacional con un total de 16 pisos, cada piso cuenta con 14 departamentos, con una superficie total de 7.467 m². Ver Figura 3. El proyecto se encuentra a cargo de la inmobiliaria Imagina, especializada en proyectos de edificación en altura.

Dentro de la etapa de obra gruesa se estudió la actividad de instalación de moldaje de losas debido al análisis previo realizado con el mapa de cadena de valor, siendo esta la más crítica. La actividad es realizada por una cuadrilla de carpinteros, compuesta por 6 trabajadores, 4 carpinteros y 2 ayudantes. Los 4 carpinteros se encargan de tareas como instalación de encintado perimetral (IEP), instalación de puntales aplomados (IPA), instalación de vigas (IV) e instalación de placas (IP), los ayudantes principalmente se encargan del transporte de material y ayuda al descimbre de moldaje. Ver Figura 4.

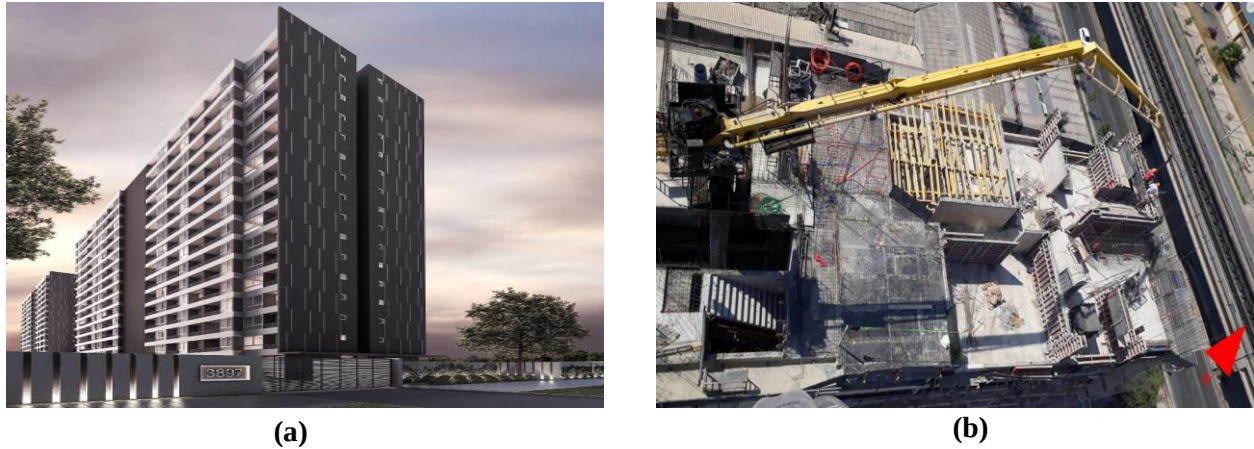


Figura 3: Edificio donde se realizó la investigación. (a) Fachada norte del edificio (b) Sección de planta etapa obra gruesa.

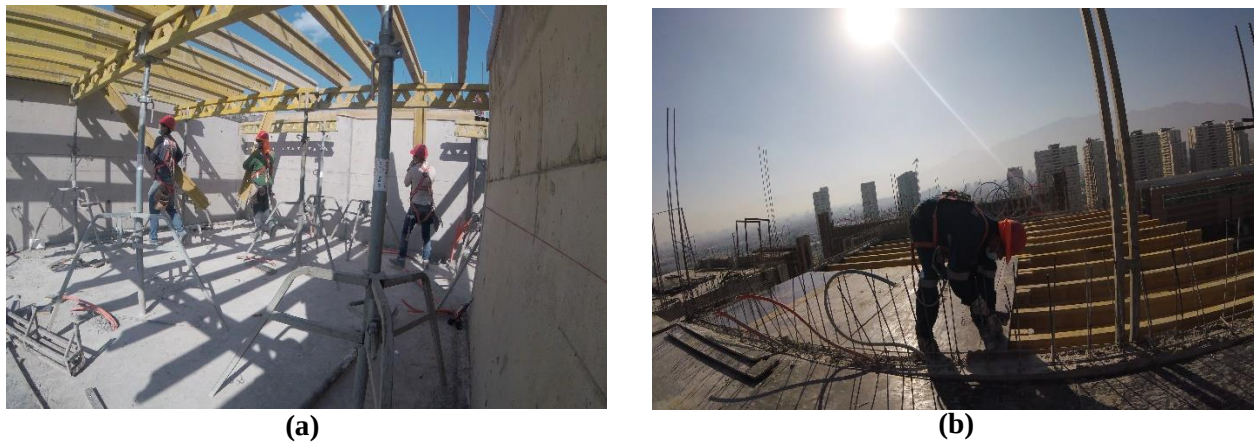


Figura 4: Cuadrilla de carpinteros. (a) Carpinteros realizando la tarea instalación de vigas (IV), (b) Carpintero realizando la tarea instalación de placas (IP).

4.2 Taxonomía de posturas corporales

Se define una taxonomía para poder definir y clasificar las posturas corporales más representativas de la actividad, con el fin de poder disminuir la cantidad de clases para entregar al algoritmo (Salazar, 2020).

Dentro de la actividad de instalación de moldaje de losas se reconocieron cuatro tareas principales: 1) instalación de encintado perimetral (IEP); 2) instalación de puntales aplomados (IPA); 3) instalación de vigas; (IV) y por último la instalación de placas (IP). Como muestra la Tabla 1, se identificó el Trabajo Productivo (TP) de color verde y el Trabajo Contributorio (TC) de color amarillo. La actividad se descompone en cuatro tareas principales, y cada una de ellas se caracteriza con posturas corporales más representativas. Cada postura corporal describe la tarea del trabajador con la herramienta o material a utilizar.

Tabla 1: Taxonomía de actividad instalación moldaje de losas. Detalle de tareas y posturas corporales asociadas a Trabajos Productivos y Trabajos Contributorios.

Nº	TAREAS	TRABAJADOR	POSTURA CORPORAL			
			IEP01	IEP02	IEP03	IEP04
1	INSTALACIÓN ENCINTADO PERIMETRAL IEP	CARPINTERO	TRABAJO CONTRIBUTORIO	TRABAJO PRODUCTIVO	TRABAJO PRODUCTIVO	TRABAJO PRODUCTIVO
						
			TRABAJADOR TRANSPORTANDO PLACAS	TRABAJADOR INSTALANDO PLACA	TRABAJADOR MIDIENDO UBICACIÓN DE PLACA SEGÚN EL TRAZO	TRABAJADOR MIDIENDO UBICACIÓN DE PLACA SEGÚN EL TRAZO
2	INSTALACIÓN PUNTALES APLOMADOS IPA	CARPINTERO	UTP01	UTP02	IPA01	IPA02
			TRABAJO CONTRIBUTORIO	TRABAJO PRODUCTIVO	TRABAJO PRODUCTIVO	TRABAJO PRODUCTIVO
						
			TRABAJADOR TRANSPORTANDO TRÍPODES PARA PUNTALES	TRABAJADOR UBICANDO EL TRÍPODE EN LUGAR CORRESPONDIENTE	TRABAJADOR INSTALANDO EL PUNTAL EN EL TRÍPODE	TRABAJADOR AJUSTANDO EL TRÍPODE CON EL PUNTAL
3	INSTALACIÓN DE VIGAS IV	CARPINTERO	IV01	IV02	IV03	
			TRABAJO CONTRIBUTORIO	TRABAJO PRODUCTIVO	TRABAJO CONTRIBUTORIO	
						
			TRABAJADOR TRANSPORTANDO VIGA	TRABAJADOR INSTALANDO VIGA	TRABAJADOR MIDIENDO LA DISTANCIA ENTRE VIGAS	
4	INSTALACIÓN DE PLACAS IP	CARPINTERO	IP01	IP02	IP03	
			TRABAJO CONTRIBUTORIO	TRABAJO CONTRIBUTORIO	TRABAJO PRODUCTIVO	
						
			TRABAJADOR TRANSPORTANDO PLACAS	TRABAJADOR UBICANDO PLACAS	TRABAJADOR MARTILLANDO PLACAS	

4.3 Etiquetado y entrenamiento de YOLO

4.3.1 Grabaciones para el entrenamiento

Se realizaron grabaciones a 4K a 90 FPS en 360° a nivel de terreno con una cámara GoPro Hero5 session con el fin de capturar todas las tareas de la actividad. Se filma al trabajador en todos sus ángulos: de frente, de lado y por detrás. Se grabaron 74 videos con un total de 4 horas de grabación para todas las tareas, cada una de ellas con una duración diferentes. Ver Tabla 2.

Tabla 2: Duración de grabación en 360°. Se detalla el tiempo de grabación utilizada para el entrenamiento para cada una de las tareas.

Grabación 360°	
TAREA	MIN
IEP	30
IPA	33
IV	80
IP	76

4.3.2 Etiquetado de imágenes para el entrenamiento

Para poder realizar el etiquetado, se extrajeron imágenes de los videos obtenidos cada 5 fotogramas por segundo, el etiquetado se realizó de tal forma de tener la misma cantidad de imágenes del trabajador de frente, de lado y por atrás utilizando el programa LabelImage. Por ejemplo, en la Figura 5 para la tarea de instalación de placas (IP) una de las tareas se observa al trabajador trasladando material (a), al trabajador instalando la placa (b) y finalmente instalando la placa (c).

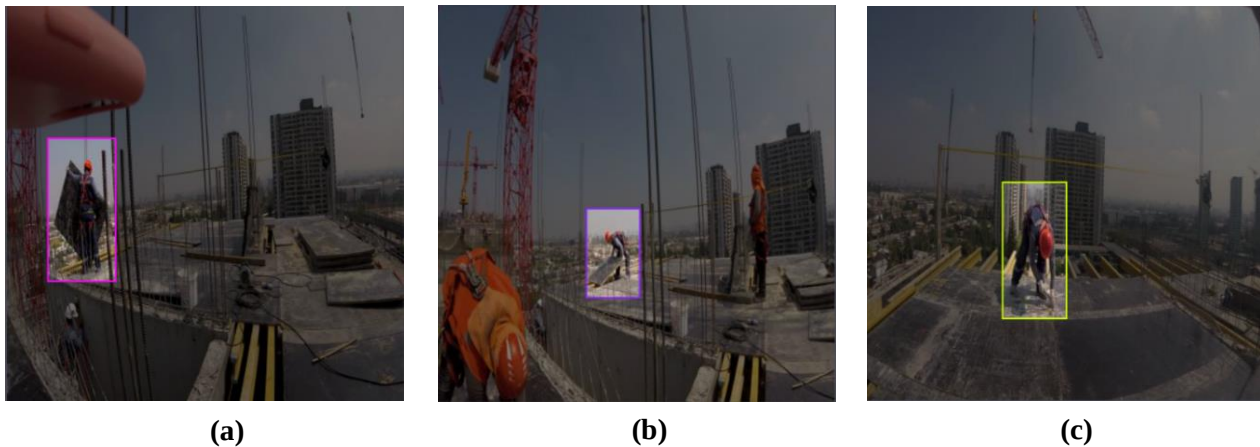


Figura 5: Set de imágenes etiquetadas para tarea de instalación de placas:(a) IP01, (b) IP02, (c) IP03.

En total se generaron 1500 imágenes de etiquetado para todas las tareas y posturas corporales. Para la instalación de encintado perimetral (IEP) se obtuvo un total de 468 imágenes etiquetadas, un

total de 460 para la tarea de instalación de puntales aplomados (IPA), 324 imágenes para la instalación de vigas (IV) y para la instalación de placas (IP) un total de 215 imágenes.

El conjunto de imágenes se entregó al programa Roboflow que permite alojar un conjunto de datos de clasificación, creando un Dataset de imágenes de train (70%) para el entrenamiento, valid (20%) para la validación y test (10%) para el testeo del algoritmo YOLOv5. Para la tarea de instalación de placas se utilizó un total de 215 imágenes de las cuales para la postura corporal IP01 se etiquetaron 80 imágenes, para la IP02 35 imágenes y para la IP03 100 imágenes como se ve en la Tabla 3. El total de imágenes etiquetadas para el entrenamiento de todas las tareas se ve en el Anexo A.

Tabla 3: Total de imágenes etiquetadas para el entrenamiento. Tarea de instalación de placas con sus respectivas posturas corporales.

4.INSTALACIÓN DE PLACAS		
IP01	IP02	IP03
80	35	100
		215

4.3.3 Entrenamiento de YOLO

El entrenamiento YOLO se realizó en Google Colab con el Dataset generado para cada una de las tareas de la actividad. La Figura 6 presenta el Dataset de la tarea de instalación de placas (IP). Se utilizó un total de 215 imágenes, de las cuales 151 se utilizaron para el entrenamiento, 42 para la validación del algoritmo y 22 imágenes para el testeo de imágenes.

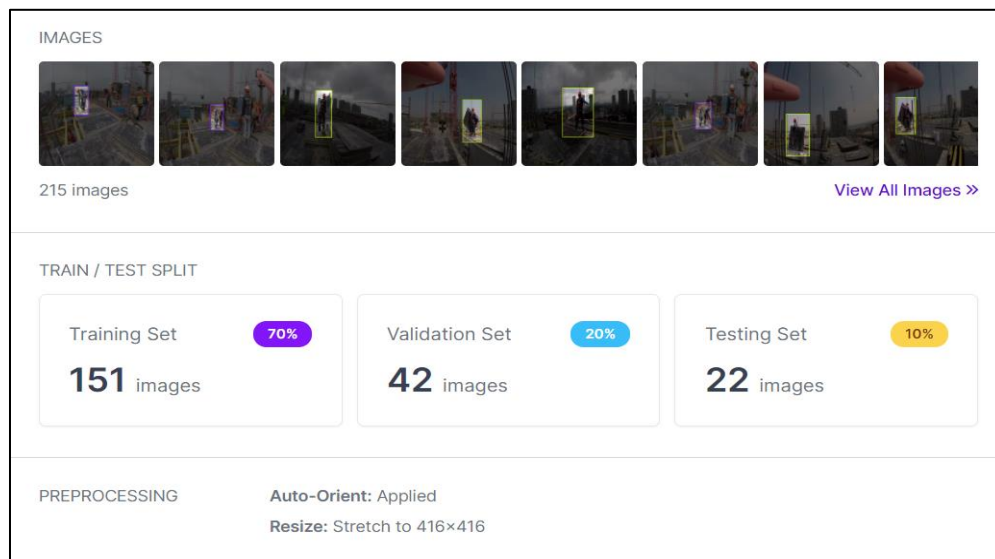


Figura 6: Dataset para la tarea de instalación de placas.

Se realizaron 1000 iteraciones para cada una de las tareas, dando como resultado los indicadores de desempeño para la tarea de instalación de placas (IP). La precisión media (mAP 0.5) llega a un valor de 0.996 como muestra la Figura 7, en donde la curva logra converger casi a 1 en la iteración 1000 ilustrado en la Figura 8.

Epoch	gpu_mem	box	obj	cls	total	labels	img_size
999/999	1.41G	0.01686	0.005493	0.0003489	0.0227	8	416: 100% 10/10 [00:01<00:00, 7.58it/s]
	Class	Images	Labels	P	R	mAP@.5	mAP@.5: .95: 100% 2/2 [00:00<00:00, 3.50it/s]
	all	42	42	0.989	0.982	0.996	0.729
	IP01	42	19	1	0.947	0.996	0.722
	IP02	42	7	0.978	1	0.996	0.756
	IP03	42	16	0.99	1	0.996	0.709

1000 epochs completed in 0.518 hours.

Optimizer stripped from runs/train/yolov5s_results/weights/last.pt, 14.8MB
 Optimizer stripped from runs/train/yolov5s_results/weights/best.pt, 14.8MB
 CPU times: user 22 s, sys: 2.72 s, total: 24.8 s
 Wall time: 31min 35s

Figura 7: Entrenamiento algoritmo YOLOv5.Número de iteraciones con su respectivo tiempo para la tarea de instalación de placas.

Los resultados obtenidos de precisión media (mAP 0.5) para las otras tareas convergen por sobre 0.65, valor óptimo recomendado por la literatura. Para la instalación de encintado perimetral (IEP) da como resultado un mAP de 0.961, para la instalación de puntales aplomados (IPA) un valor de 0.914 y para la instalación de vigas (IV) siendo el resultado más bajo de todas las tareas, sin embargo, en términos globales todos convergen a un resultado mayor a un 0.85. Ver Anexo B. El resumen del proceso de etiquetado y entrenamiento de cada una de las tareas se encuentra en el Anexo C.

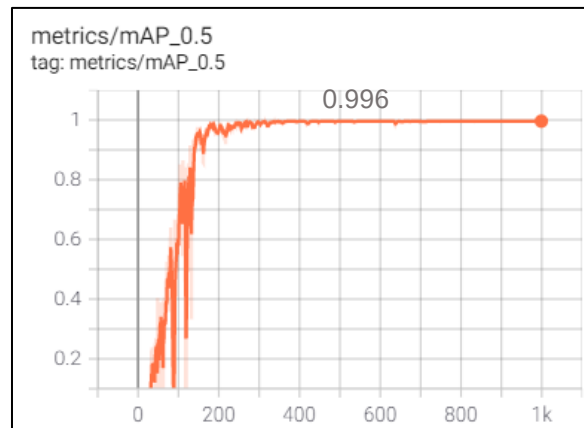


Figura 8: Precisión media (mAP 0.5).

4.4 Medición de productividad

4.4.1 Grabaciones cámara fija

A diferencia de las grabaciones realizadas en 360° para la etapa del entrenamiento, en la siguiente etapa para obtener las detecciones de posturas corporales se realizaron grabaciones con una cámara fija Go Pro para todas las tareas involucradas de la actividad.

Las grabaciones fueron realizadas para dos losas, capturando la actividad completa de instalación de moldaje de losas de inicio a fin. Ambas tuvieron una duración total de trabajo de aproximadamente 44 minutos. Para la losa 1 se obtuvo un total de 42 minutos de grabación y para la losa 2 un total de 46 minutos obteniendo un total de 14 videos con aproximadamente 2 horas totales de grabación para la etapa de medición de productividad.

Para la instalación de encintado perimetral (IEP) y la instalación de puntales aplomados (IPA) la cámara se instaló en una esquina superior del muro capturando todo el frente de trabajo desde arriba. Para capturar la tarea de instalación de vigas (IV) y la instalación de placas (IP) se cambió la ubicación de la cámara al frente de la actividad como se ve en la Figura 9.

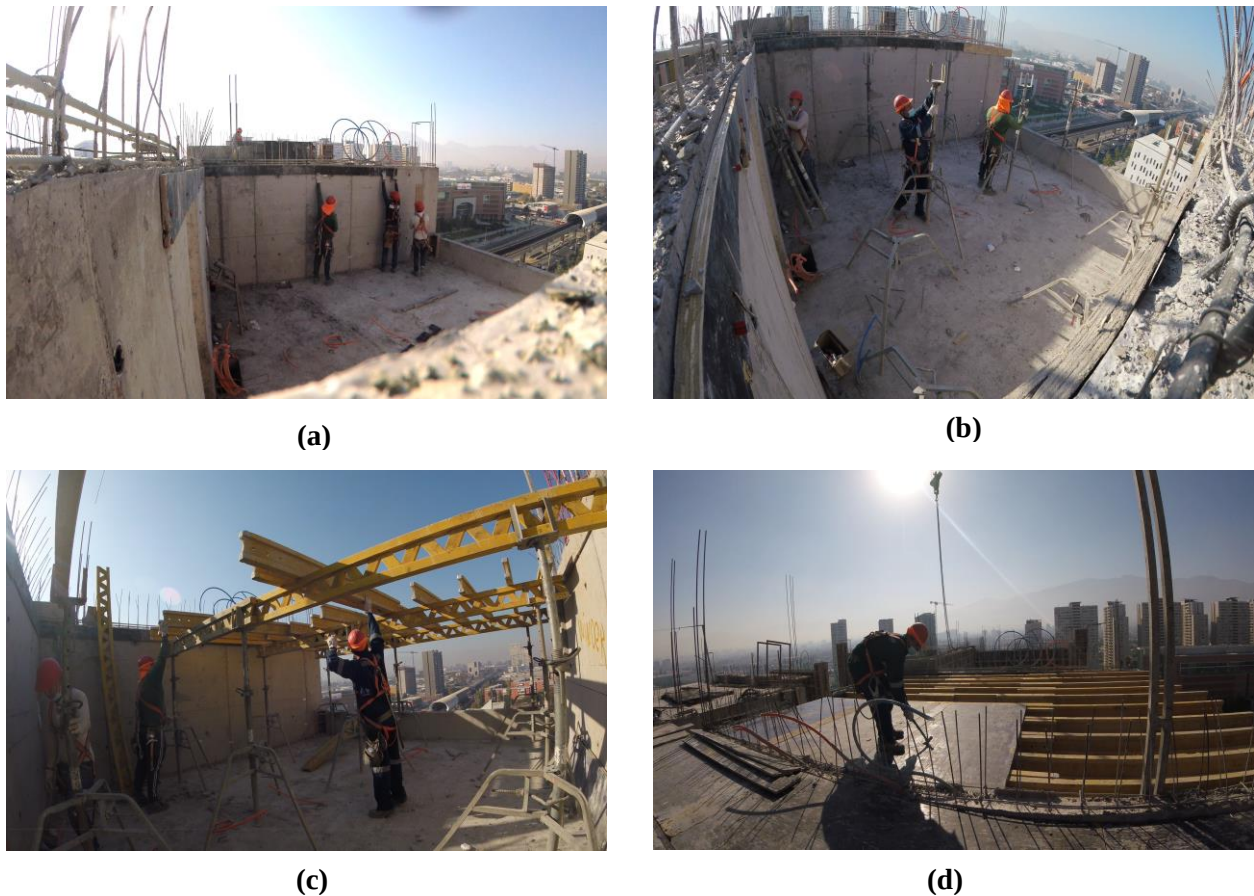


Figura 9: Captura de grabaciones para cada una de las tareas en la etapa de medición de productividad. (a)IEP, (b) IPA, (c) IV, (d) IP

4.4.2 Muestreo de imágenes

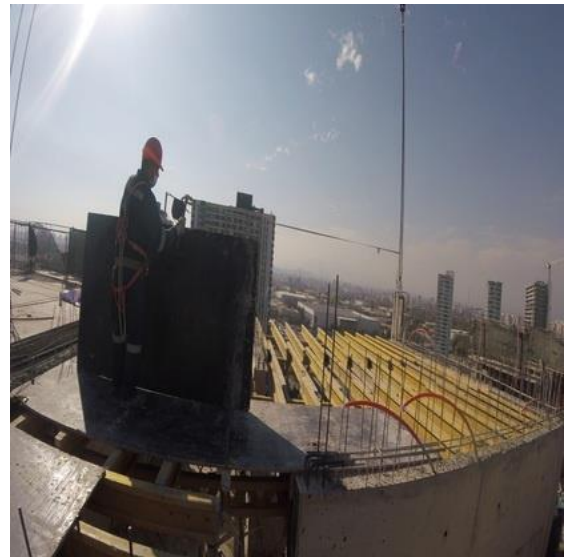
Para poder realizar las detecciones de posturas corporales, se extrajeron las imágenes de los videos obtenidos cada 5 segundos. Para el caso de la instalación de placas (IP), la tarea está enfocada en el momento en que ocurrió esta actividad que duró 8.52 s, se obtuvo un total de 106 imágenes que fueron utilizadas para la detección del algoritmo entrenado. Se mostrará el desarrollo de los resultados de la tarea (IP) que obtuvo mejor resultado en la etapa de entrenamiento.

4.4.3 Detecciones con algoritmo YOLO

Se entregaron 106 imágenes al algoritmo YOLO entrenado para la tarea de instalación de placas (IP). En la Figura 10 se ve la detección del algoritmo YOLO con un 82% de certeza para la postura corporal IP03 (a) al trabajador martillando la placa, tarea asociada al Trabajo Productivo (TP), por el contrario, la postura corporal IP01 (b) el algoritmo no es capaz de detectar al trabajador transportando placas asociadas al Trabajo Contributorio (TC).



(a)



(b)

Figura 10: Detecciones del algoritmo YOLO. Posturas corporales para la tarea de instalación de placas **(a)** IP03 detectada con un 82% de certeza, **(b)** IP01 no detectada.

4.4.4 Cartas de Balance

Una vez detectadas las imágenes por el algoritmo se procede a confeccionar las Cartas de Balance para todas las tareas, de forma manual y con las detecciones obtenidas por el algoritmo. En la Figura 11 se muestra la Carta de Balance de la tarea de instalación de placas (IP), ya que es la que obtuvo mejor desempeño en la etapa del entrenamiento y diagnóstico. La tarea es realizada por un trabajador por tanto solo hay una barra de resultados. De las 106 imágenes entregadas al algoritmo, 59 de ellas pueden ser detectadas debido a que el algoritmo solo es capaz de detectar el Trabajo Productivo (TP) y Trabajo Contributorio (TC).

Respecto a los resultados entregados por el algoritmo reflejados en la Carta de Balance, la Tabla 4 muestra que el algoritmo detectó 34 imágenes de las 47 asociadas a Trabajo Productivo (TP), correspondiente a un 72% de detección, respecto al Trabajo Contributorio (TC) de las 12 imágenes no detectó ninguna. En relación con el total de las 106 imágenes entregadas al algoritmo, 59 corresponden a Trabajo Productivo y a Trabajo Contributorio de las cuales el algoritmo detectó 34 imágenes correspondientes a un 58%.

Las cartas de balance de las tareas de instalación de encintado perimetral (IEP), instalación de puntales aplomados (IPA) e instalación de vigas (IV) se encuentran en el Anexo D. Se puede apreciar que los peores resultados fueron para la tarea de instalación de encintado perimetral, ya que el color verde correspondiente al Trabajo Productivo no se detecta en la carta de balance realizada con YOLO. Respecto a las otras tareas instalación de puntales aplomados (IPA) e instalación de vigas (IV) tienen un buen desempeño en cuanto a los Trabajos Productivos y Contributorios, ya que a simple vista se ve una similitud de los colores verdes y amarillos en la Carta de Balance manual vs la Carta de Balance realizada con YOLO.

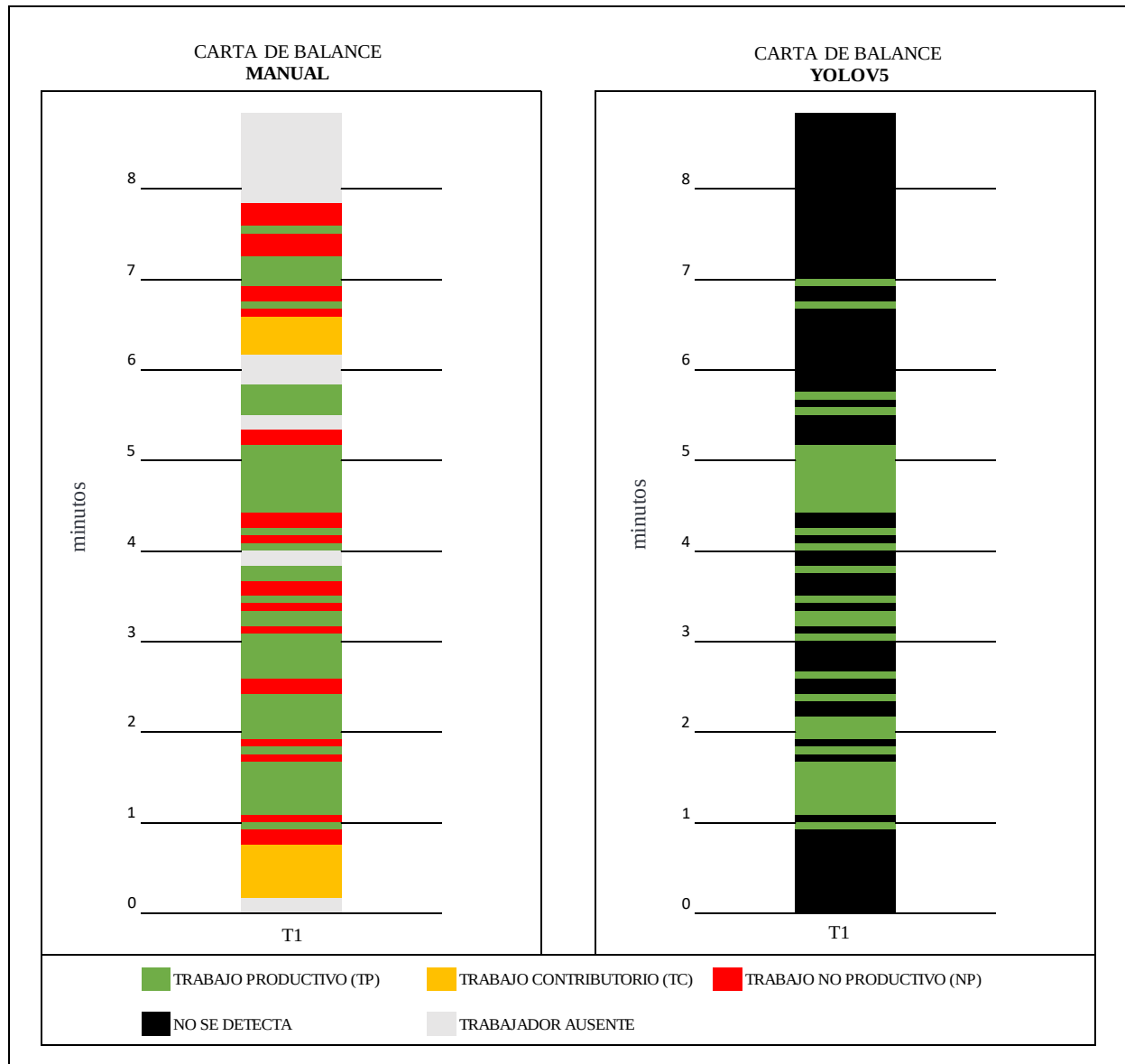


Figura 11: Resultados de cartas de balance. Realizadas de forma manual y con las detecciones realizadas por YOLOv5 para la tarea de instalación de placas (IP).

Tabla 4: Resumen de resultados de cartas de balance (IP).

Detección	Manual	YOLOv5	%
Trabajo Productivo	47	34	72%
Trabajo Contributivo	12	0	0%
Total detectadas	59	34	58%

4.5 Propuesta metodológica

Se realizó una propuesta preliminar del proyecto de investigación basada en el aprendizaje obtenido durante todo el proceso en el caso estudio para medir productividad usando videos y detección de imágenes con un algoritmo YOLO de Machine Learning. La propuesta metodológica se resume en tres grandes pasos que son: 1) Ajuste en terreno de tareas y la taxonomía de posturas corporales; 2) etiquetado y entrenamiento YOLO; y 3) medición de productividad. Todo ello se aprecia en la Figura 12.

A continuación, se detalla cada etapa de la propuesta metodológica.

1. **Ajuste en terreno y taxonomía de posturas corporales:** Se debe realizar un estudio de la actividad en terreno para identificar las tareas, trabajadores y herramientas involucradas. El estudio permite realizar la taxonomía asociadas a posturas corporales. El proceso comprende un total de 5 horas y el proceso requiere ser realizado solo 1 vez.
2. **Etiquetado y entrenamiento YOLO:** Se realiza el entrenamiento del algoritmo YOLOv5 para todas las tareas. El proceso se realiza 1 vez y tiene una duración total de 20 horas.
3. **Medición de productividad:** Finalmente se representan los resultados obtenidos del entrenamiento a través de cartas de balances. El proceso es reiterativo, quiere decir que cada vez que se busca medir productividad se debe grabar, detectar en algoritmo y construir las cartas de balance, con una duración total de 2 horas aproximadamente.

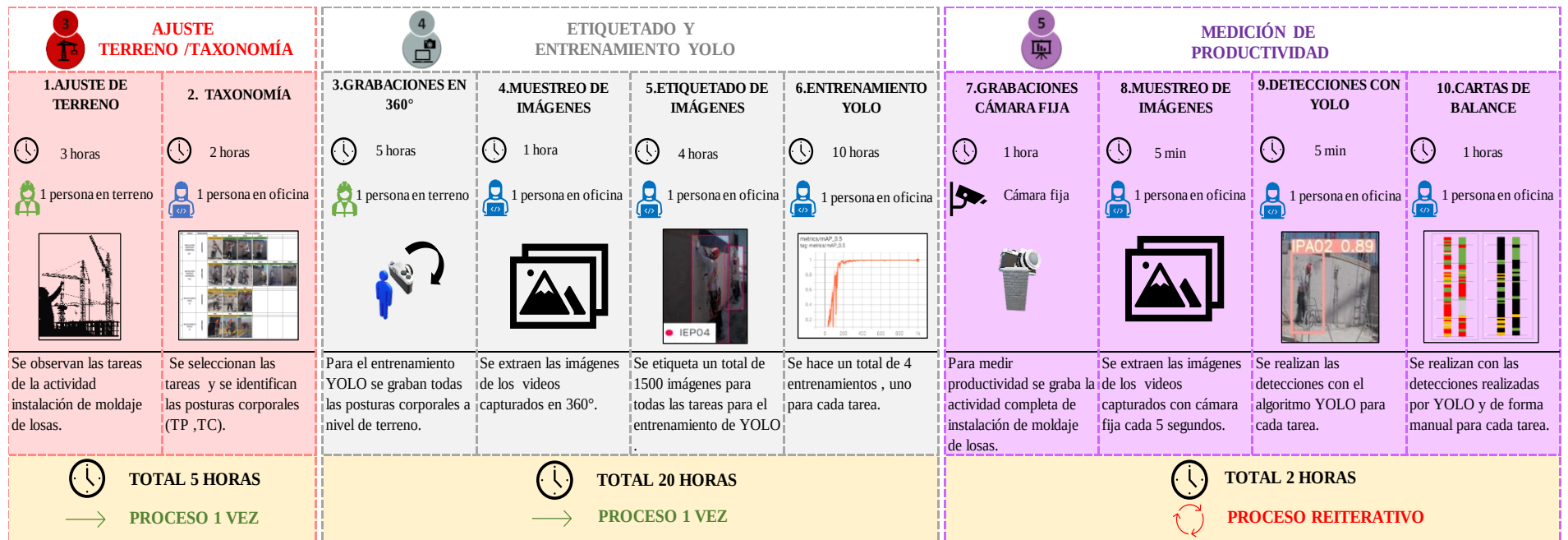


Figura 12: Proceso metodología para medir productividad con Machine Learning

4.6 Validación

Una vez definida y realizada la propuesta de la metodología de investigación para medir la productividad usando videos y detección de imágenes con Machine Learning, se tomó la decisión de validar la metodología. La validación se realizó a través de una encuesta de 8 preguntas a profesionales académicas y de terreno involucradas en el sector de la construcción.

La encuesta de validación es realizada con una escala Likert de 1 a 4. Las respuestas se presentan en diferentes niveles de medición representados en una opción múltiple que evalúan aspectos de totalmente en desacuerdo (1), en desacuerdo (2), de acuerdo (3) y totalmente de acuerdo (4).

La encuesta fue realizada a 5 profesionales en total, 3 profesionales de terreno y 2 profesionales académicos. La Figura 13 presenta un resumen de los resultados de la encuesta de validación. Se realizó al menos una pregunta para cada paso de la metodología de investigación. La metodología presentada en color verde entregó un promedio de 2.9 en la escala de Likert. La clasificación de la taxonomía fue bien evaluada con un valor de 3.4. Respecto a los índices de los algoritmos y la similitud entre cartas de balance realizadas de forma manual vs YOLO también fueron bien evaluadas con 3.2. Finalmente, en cuanto a la metodología del proyecto obtuvo un valor promedio de 3.3. En el Anexo E se encuentra el detalle de cada una de las preguntas.

De la encuesta se obtuvo como resultado una valoración general promedio de 3.2. Además los profesionales de terreno aportaron comentarios, opiniones y recomendaciones presentados a continuación:

- I. Se propone definir los costos, recursos necesarios en cuanto a mano de obra y herramientas para poder desarrollar la metodología.
- II. Se recomienda dar una mayor duración a la etapa 3 y 4 para tener un buen estudio previo de la actividad, en cuanto a las tareas detectadas, taxonomía, videos e imágenes de las posturas corporales a fin de tener un buen entrenamiento del algoritmo y posteriormente obtener buenos resultados en la etapa final.
- III. La metodología de investigación propone un menor tiempo para ser realizada por lo que se propone implementar una comparativa entre las cartas de balance realizadas de forma manual y las realizadas con los resultados obtenidos por YOLO para demostrar la diferencia de realización en cuanto a tiempo entre ambos métodos.
- IV. Se recomienda implementar un indicador de porcentaje de error para ver qué tan eficaz es el algoritmo para detectar posturas corporales y medir productividad.

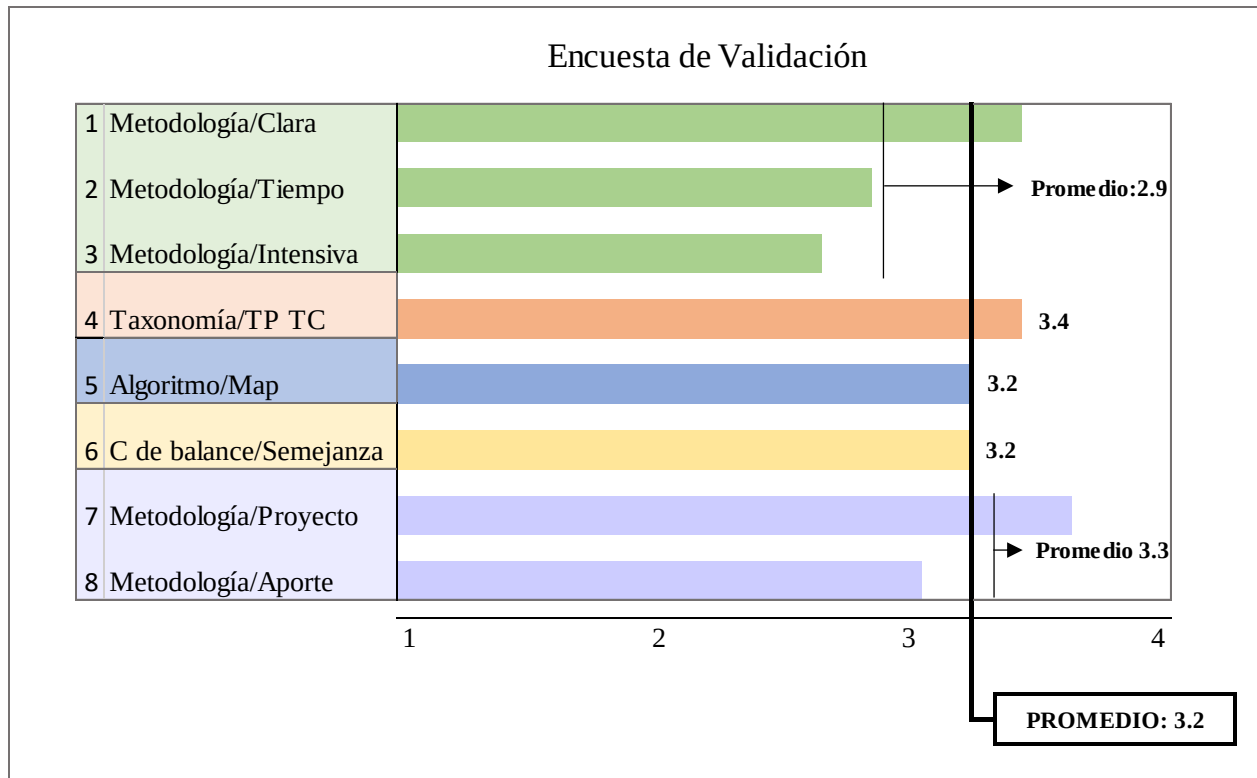


Figura 13: Encuesta de validación. Se presenta resultados de encuesta de validación de profesionales de terreno y académicos del sector de la construcción.

5. CONCLUSIONES

La industria de la construcción es uno de los sectores más importantes en la economía de Chile, sin embargo, la industria presenta una productividad con un crecimiento cercana a cero. Muy baja comparada con las otras industrias. Por lo tanto, hay un desafío muy grande para poder mejorar esto y lo importante es poder abrir la mirada e implementar nuevas tecnologías para poder hacer frente a este gran problema debido a la gran injerencia que tiene el sector de la construcción en el PIB y el empleo del país.

Actualmente la productividad en su mayoría se mide a través de Cartas de Balance. El problema de esta herramienta es que es muy ambigua, requiere mucho tiempo y es muy intensiva en cuanto a mano de obra. En consecuencia, con esta metodología se propone crear una herramienta capaz de realizar detecciones de posturas corporales para medir la productividad de una cuadrilla de trabajo, a través de Cartas de Balance de forma más objetiva, con un menor costo en recursos y en menos tiempo.

La metodología de investigación propone estudiar una actividad, en este caso instalación de moldaje de losas, medir la productividad de la cuadrilla de trabajo. Se estudió el proceso de hormigonado de losas mediante un mapa de cadena de valor, escogiendo así la actividad más crítica dentro del proceso, identificando tareas y herramientas asociadas a la actividad.

Después de reiteradas iteraciones se llegó a las 4 tareas principales y más importantes del proceso. Una vez identificadas las tareas se realizó la taxonomía de las posturas corporales. Este proceso es sumamente importante ya que con esto es posible reducir las posturas que no son significativas en la realización de la actividad, por lo que es necesario definir las posturas corporales que más se repiten y que mejor caracterizan las tareas de la actividad estudiada. Se obtiene un entrenamiento que represente en su totalidad la clasificación de los Trabajos Productivos y Contributorios.

Para hacer posible la etapa de etiquetado de imágenes y entrenamiento del algoritmo se realizaron grabaciones en 360° a nivel de terreno, para mostrar desde varios puntos de vista al trabajador realizando la tarea. Esto permite entregar un set de imágenes con mayor cantidad de información del proceso constructivo. Esto ayuda al algoritmo en la precisión de las detecciones reduciendo los errores y las no detecciones.

El entrenamiento del algoritmo entregó buenos resultados, esto se refleja en los indicadores de desempeño. Para todas las tareas se obtuvo un mAP mayor a un 0.854 llegando a un valor máximo de 0.996 para la instalación de placas. Los resultados obtenidos fueron buenos para la detección de posturas corporales asociadas a Trabajo Productivo y nulas para la detección de trabajo Contributorio para la tarea de la instalación de placas. Esto se debe a la diferencia de imágenes utilizadas para entrenar el algoritmo y las imágenes utilizadas para medir productividad. Dentro de todos los factores, existen 3 más importantes a la hora de entrenar en el algoritmo y luego detectar las posturas corporales para medir productividad: 1) calidad de imágenes; 2) similitud de imágenes; 3) elementos o herramientas no identificados en la etapa de etiquetado.

En cuanto a las imágenes para la instalación de placas no se detectó la postura corporal asociada al Trabajo Contributorio debido a que las imágenes etiquetadas para el entrenamiento no estaban a contraluz, en cambio las imágenes entregadas para medir productividad estaban a contraluz. Para el algoritmo fue difícil poder reconocer imágenes muy distintas a las del entrenamiento, por lo que las imágenes de ambas etapas deben ser parecidas.

Otro factor importante que considerar a la hora de realizar las grabaciones es que las imágenes para el etiquetado deben estar grabadas en el mismo ángulo y con similar resolución a las grabaciones para medir productividad. Esto debido a que el algoritmo solo reconocerá imágenes similares a las entregadas en la etapa del entrenamiento del algoritmo.

Por último, considerar los elementos externos a posturas corporales y herramientas previamente reconocidas en la taxonomía. En el caso de la tarea de instalación de encintado perimetral se etiquetaron imágenes en las que solo se observaba al trabajador con la placa realizando la tarea, en cambio para la etapa de medir productividad se entregaron imágenes donde se visualizaban puntales, trípodes y vigas. Eso dificultó al algoritmo poder reconocer estas posturas corporales con los elementos externos que se presentan en las imágenes y perturba la postura del trabajador.

El algoritmo entregó los mejores resultados para la tarea de instalación de placas debido a que se cumplió la mayoría de los factores nombrados anteriormente para obtener buenos resultados.

Respecto a las cartas de balance presentadas en el Anexo C, para la tarea de instalación de encintado perimetral, se observa que las detecciones realizadas por YOLO no son buenas para detectar el Trabajo Productivo. Todo se ve representado en negro debido a que una de las principales tareas que se repite es la postura corporal IEP03 (Ver Tabla 1) y esta no es detectada por el algoritmo debido a que se observa una gran cantidad de puntales que obstruyen la huincha de medir que sostiene el trabajador y es casi imperceptible para el algoritmo. Además, el entrenamiento para la tarea de instalación de encintado perimetral se hizo cuando el área de trabajo se encontraba despejada y el video para medir productividad se encontraba obstaculizada con puntales y vigas instaladas.

Se observa que la detección de Trabajo Productivo representado de color verde es buena debido a que este coincide en ambas Cartas de Balance. Las detecciones de Trabajo Contributorio no son buenas debido a que este solo se visualiza en la carta de balance realizada de forma manual.

5.1 Contribución al conocimiento

La principal contribución al conocimiento es definir una metodología que permita medir la productividad mediante la detección de posturas corporales usando videos e imágenes por medio de la utilización de Machine Learning, realizando cartas de balance que permitan medir la productividad y Trabajos Contributorios de una cuadrilla de trabajo.

5.2 Importancia práctica

La metodología implementa una herramienta que permite medir la productividad de forma más objetiva, con un menor tiempo y menos intensiva en cuanto a mano de obra, a través de la utilización de un algoritmo de Machine Learning. Esto permite entregar información confiable y veraz aportando a la toma rápida de decisiones en el sector de la construcción.

5.3 Futuras investigaciones

Se propone aplicar la metodología en otras actividades de obra gruesa y terminaciones en el sector de la construcción.

Respecto a las grabaciones para la detección de posturas corporales se sugiere que se hagan con más de una cámara fija para poder captar al trabajador en todos sus ángulos.

Se propone utilizar YOLO para realizar detecciones de movimiento de materiales o de posturas corporales a través de videos, de esta forma obtener resultados en tiempo real y con más detalles.

Plantear un método automatizado para la realización de cartas de balance con los resultados obtenidos por YOLO sin necesidad de realizarlos de forma manual.

REFERENCIAS

- Berrios, I. (Octubre de 2019). *Machine Learning para diagnósticos de productividad y seguridad en la industria de la construcción a partir de videos*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Andrés Bello, Santiago de Chile.
- CChC. (Noviembre de 2017). *Cámara Chilena de la Construcción*. Obtenido de CChC: www.cchc.cl
- CChC. (Octubre de 2020). *Impulsar la productividad de la industria de la Construcción en Chile a estándares mundiales*. Obtenido de CChC: <https://www.cchc.cl>
- CNP. (Noviembre de 2020). *Comisión nacional de productividad*. Obtenido de www.comisiondeproductividad.cl
- Fischer, M. (2006). *Formalizing Construction Knowledge for Concurrent Performance-based Design*. In Workshop of the European Group for Intelligent Computing in Engineering (pp.186-205). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Mckinsey. (2020). *Construye 2025 CORFO*. Obtenido de www.Construye2025.cl
- Mora, M. (2009). *Utilización de imágenes digitales para el mejoramiento de la productividad de operaciones de construcción*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Nelson. (2020). *Roboflow*. Obtenido de <https://blog.roboflow.com/mean-average-precision-per-class/>
- Nelson. (2021). *Roboflow*. Obtenido de <https://blog.roboflow.com/yolov4-versus-yolov5/>
- Oglesby, C., Parker H., & Howell, G (1989). *Productivity Improvement in Construction (4th ed.)*. McGraw-Hill Series in Construction Engineering and Project Management.
- Pampliega, C. (2019). *Inteligencia artificial en el sector de la construcción*. Artificial intelligence in construction sector, Building & Management .Volume 3.
- Roberts, D. (2020). *Vision-Based Construction Worker Activity Analysis Informed by Body Posture*. ASCE Technical Papers.American Society of Civil Engineers.
- Rosenbaum, S. (2012). *Aplicación de mapeo de cadenas de valor para la detección de perdidas productivas y medioambientales en la construcción: estudio de caso en obra "Clínica Universidad de los Andes"*. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Santiago de Chile

Salazar, M. (2020). *Uso de Machine Learning para medir la productividad en la construcción, a través de cartas de balance diseñadas en base a la detección de tareas de trabajos en videos*. Santiago.

Solawetz. (2020). *Roboflow*. Obtenido de <https://blog.roboflow.com/how-to-train-yolov5-on-a-custom-dataset/>

Solminihac, H. A. (2017). *Productividad en la Construcción en Chile 2017: Productividad Total de Factores y Productividad Media Laboral*. Informe CLAPES UC, Santiago de Chile.

ANEXOS

ANEXO A

1.INSTALACIÓN ENCINTADO PERIMETRAL			
IEP01	IEP02	IEP03	IEP04
94	109	125	140
			468

(a)

2.INSTALACIÓN PUNTALES APLOMADOS					
IPA01	IPA02	IPA03	IPA04	UTP01	UTP02
82	81	92	72	80	53
					460

(b)

3.INSTALACIÓN DE VIGAS		
IV01	IV02	IV03
138	161	114
		324

(c)

Figura A-1: Set de imágenes para tarea instalación encintado perimetral. (a)IEP, (b)IPA, (c)IV.

ANEXO B

Epoch	gpu_mem	box	obj	cls	total	labels	img_size
999/999	1.43G	0.01597	0.006431	0.0006862	0.02309	21	416: 100% 21/21 [00:02<00:00, 7.20it/s]
Class		Images	Labels	P	R		mAP@.5 mAP@.5:.95: 100% 3/3 [00:01<00:00, 2.42it/s]
all		93	108	0.953	0.925		0.961 0.723
IEP01		93	6	0.994	0.833		0.931 0.701
IEP02		93	10	0.906	0.965		0.932 0.649
IEP03		93	30	0.99	0.967		0.995 0.792
IEP04		93	62	0.921	0.935		0.985 0.75

1000 epochs completed in 0.998 hours.

Optimizer stripped from runs/train/yolov5s_results/weights/last.pt, 14.8MB
Optimizer stripped from runs/train/yolov5s_results/weights/best.pt, 14.8MB
CPU times: user 36.2 s, sys: 4.22 s, total: 40.4 s
Wall time: 1h 19s

Figura B-1: Resultados del algoritmo YOLO (IEP). Tarea instalación encintado perimetral.

Epoch	gpu_mem	box	obj	cls	total	labels	img_size
999/999	1.84G	0.01774	0.00787	0.002858	0.02846	6	416: 100% 21/21 [00:03<00:00, 6.41it/s]
Class		Images	Labels	P	R		mAP@.5 mAP@.5:.95: 100% 3/3 [00:01<00:00, 2.17it/s]
all		92	102	0.949	0.873		0.914 0.682
IPA01		92	15	1	0.816		0.989 0.723
IPA02		92	18	0.935	1		0.996 0.8
IPA03		92	26	1	0.928		0.996 0.78
IPA04		92	10	0.83	1		0.959 0.797
UTP01		92	19	0.931	0.708		0.694 0.403
UTP02		92	14	1	0.786		0.85 0.587

1000 epochs completed in 1.122 hours.

Optimizer stripped from runs/train/yolov5s_results/weights/last.pt, 14.8MB
Optimizer stripped from runs/train/yolov5s_results/weights/best.pt, 14.8MB
CPU times: user 46.4 s, sys: 6.38 s, total: 52.8 s
Wall time: 1h 7min 50s

Figura B-2: Resultados del algoritmo YOLO (IPA). Tarea de instalación de puntales aplomados.

Epoch	gpu_mem	box	obj	cls	total	labels	img_size
999/999	1.84G	0.01748	0.006147	0.002582	0.02621	0	416: 100% 19/19 [00:07<00:00, 2.50it/s]
Class		Images	Labels	P	R		mAP@.5 mAP@.5:.95: 100% 3/3 [00:01<00:00, 1.91it/s]
all		83	84	0.96	0.803		0.854 0.625
IPA01		83	7	0.977	1		0.995 0.751
IPA02		83	2	0.945	1		0.995 0.746
IPA04		83	2	0.962	1		0.995 0.821
IVP01		83	8	1	0.759		0.891 0.618
IVP02		83	7	0.983	1		0.995 0.793
IVS01		83	22	0.895	0.773		0.91 0.574
IVS02		83	19	0.883	0.895		0.964 0.703
IVS03		83	16	1	0.797		0.936 0.617
UTP01		83	1	1	0		0 0

1000 epochs completed in 2.537 hours.

Optimizer stripped from runs/train/yolov5s_results2/weights/last.pt, 14.8MB
Optimizer stripped from runs/train/yolov5s_results2/weights/best.pt, 14.8MB
CPU times: user 1min 23s, sys: 11.4 s, total: 1min 34s
Wall time: 2h 32min 28s

Figura B-3: Resultados del algoritmo YOLO(IV). Tarea de instalación de vigas.

ANEXO C



Figura C-1: Resumen proceso etiquetado y entrenamiento de YOLO

ANEXO D

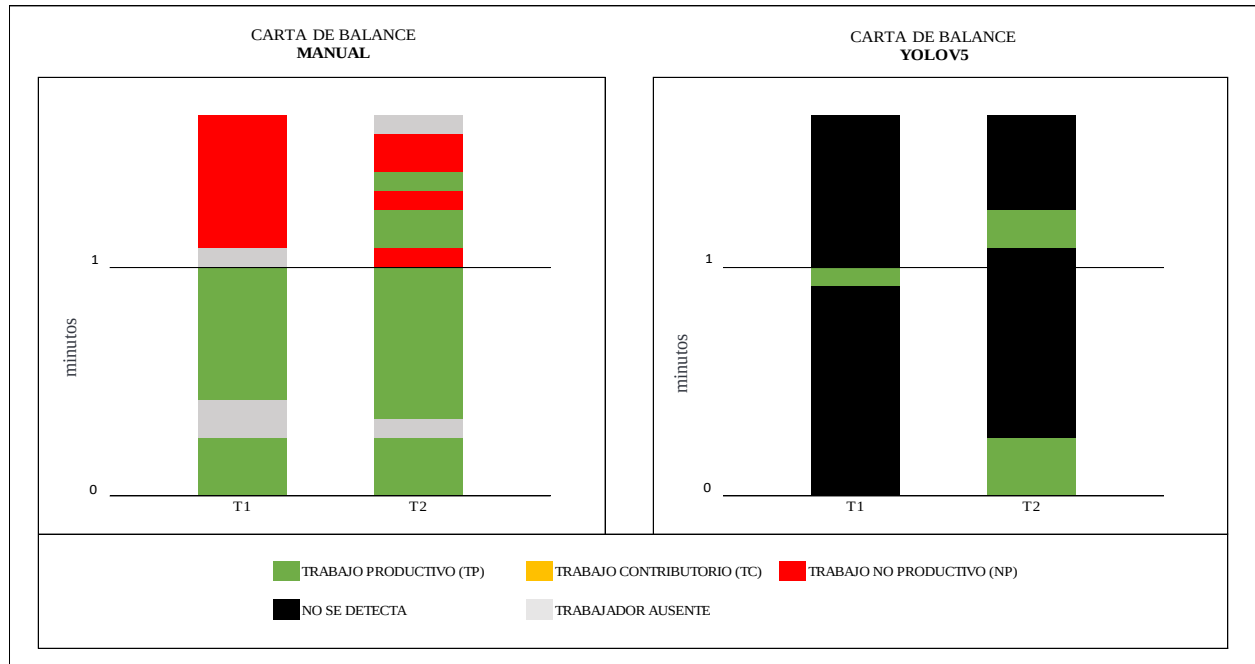


Figura D-1: Cartas de Balance (IEP). Carta de balance realizada de forma manual y realizada con los resultados obtenidos por el algoritmo.

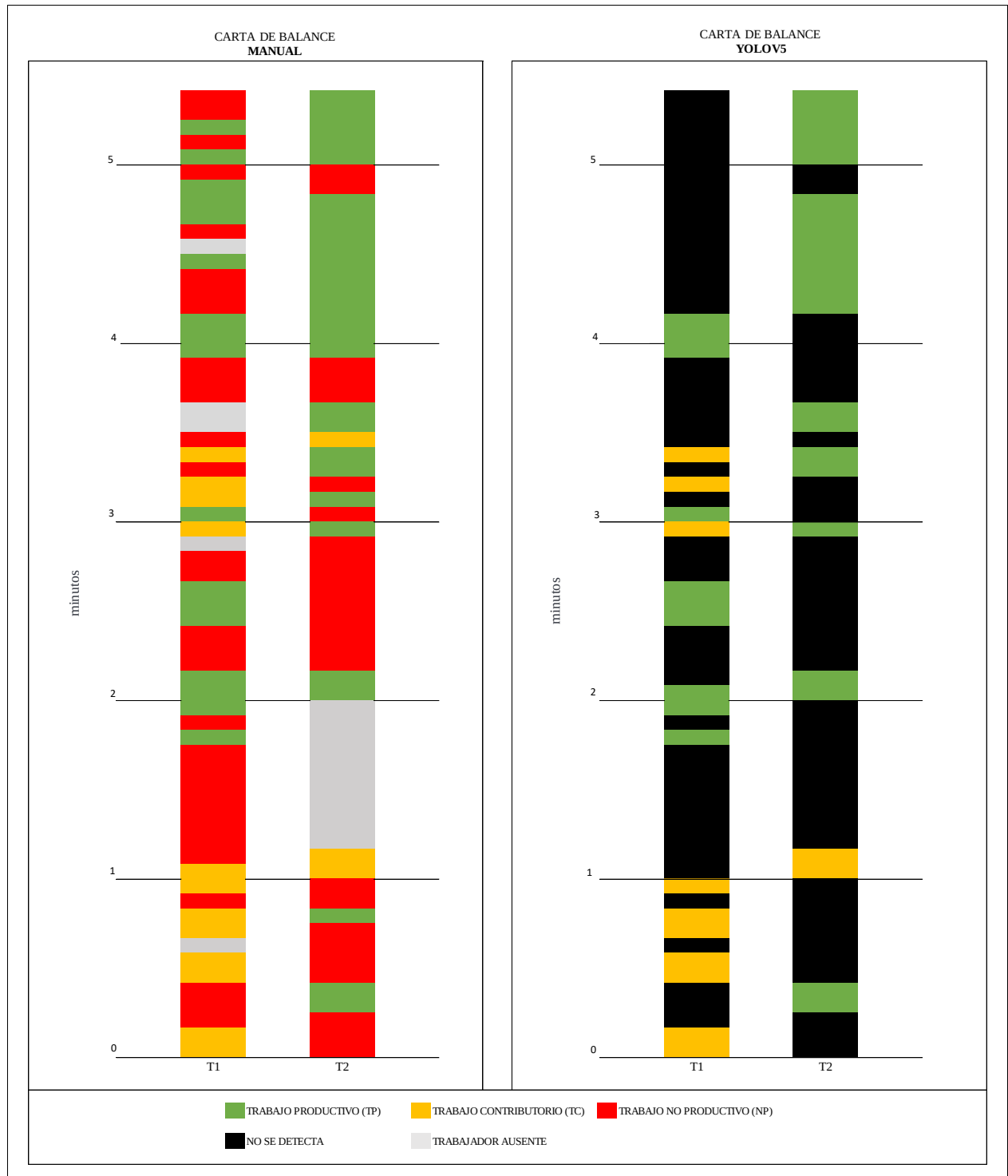


Figura D-2: Cartas de Balance (IPA). Carta de balance realizada de forma manual y realizada con los resultados obtenidos por el algoritmo.

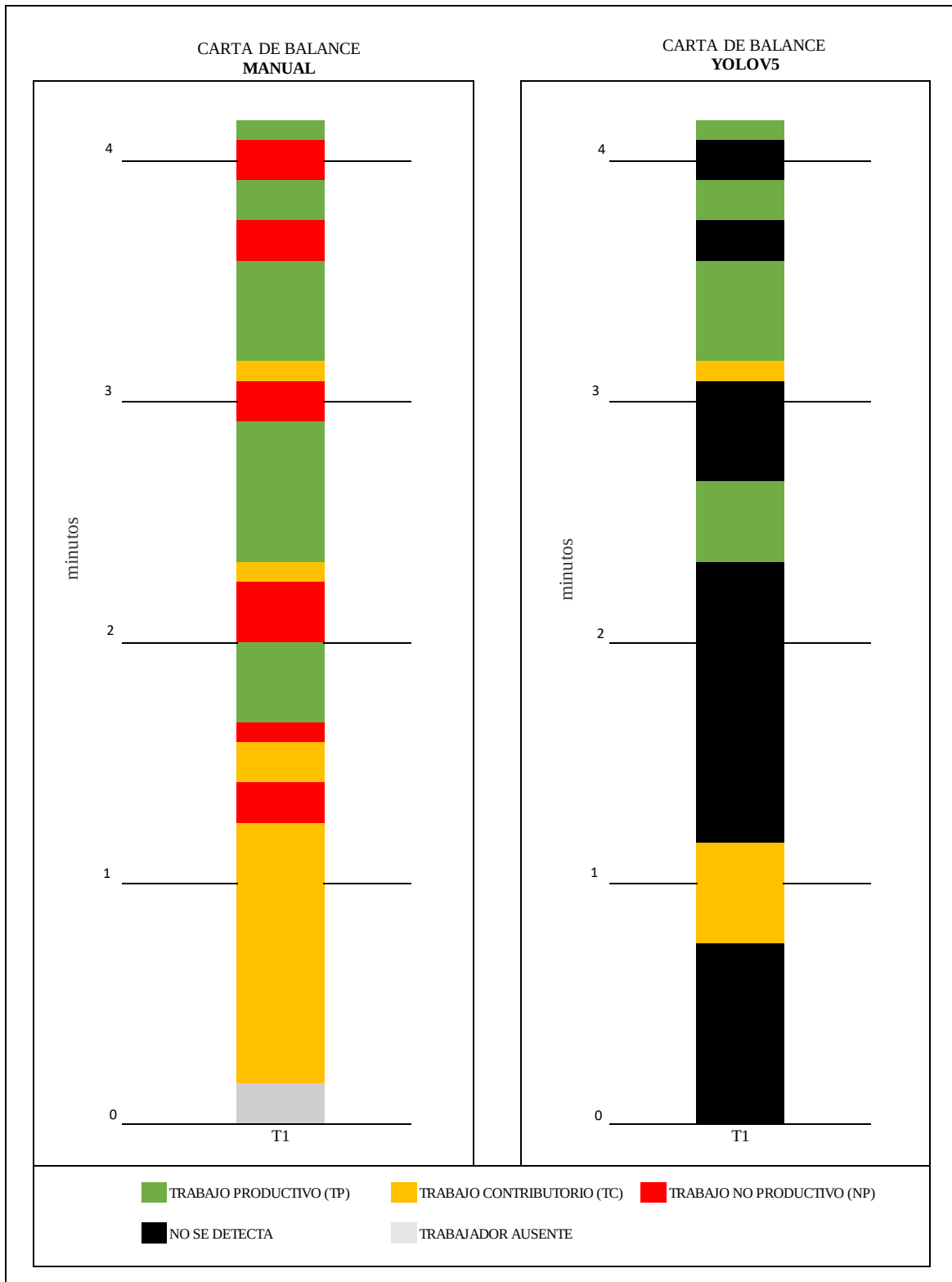


Figura D-3: Cartas de Balance (IV). Carta de balance realizada de forma manual y realizada con los resultados obtenidos por el algoritmo.

ANEXO E

Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil

Diagnóstico productivo de cuadrillas de trabajo usando videos y detección de imágenes con Machine Learning

Nombre: _____

Profesión y/o cargo: _____

Fecha: _____

1. ¿Entiende de forma clara la metodología para diagnósticos productivos de cuadrillas de trabajo usando videos y detección de imágenes con Machine Learning? (Ver Figura 3)

☐ Muy en desacuerdo ☐ En desacuerdo ☐ De acuerdo ☐ Muy de acuerdo

Comentarios: _____

2. ¿Considera que la metodología requiere mucho tiempo para ser realizada? (Ver Figura 3)

☐ Muy en desacuerdo ☐ En desacuerdo ☐ De acuerdo ☐ Muy de acuerdo

Comentarios: _____

3. ¿Considera que la metodología es intensiva en cuanto a mano de obra? (Ver Figura 3)

☐ Muy en desacuerdo ☐ En desacuerdo ☐ De acuerdo ☐ Muy de acuerdo

Comentarios: _____

4. ¿La taxonomía describe adecuadamente el trabajo productivo y trabajo contributivo asociada a la actividad de instalación de moldaje de losas? (Ver Figura 4)

☐ Muy en desacuerdo ☐ En desacuerdo ☐ De acuerdo ☐ Muy de acuerdo

Comentarios: _____

Figura E-1: Encuesta de validación Parte 1.

Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil

5. ¿Considera adecuado los indicadores de desempeño del algoritmo YOLO para la detección de posturas corporales? (Ver Figura 9)

☐ Muy en desacuerdo ☐ En desacuerdo ☐ De acuerdo ☐ Muy de acuerdo

Comentarios: _____

6. ¿Las cartas de balance construidas con las detecciones de YOLO se asemejan con las cartas de balance construidas manualmente? (Ver Figura 10)

☐ Muy en desacuerdo ☐ En desacuerdo ☐ De acuerdo ☐ Muy de acuerdo

Comentarios: _____

7. ¿Utilizaría esta metodología en proyectos futuros para realizar diagnósticos de productividad utilizando machine learning?

☐ Muy en desacuerdo ☐ En desacuerdo ☐ De acuerdo ☐ Muy de acuerdo

Comentarios: _____

8. ¿Realizaría algún aporte a la metodología?

☐ Muy en desacuerdo ☐ En desacuerdo ☐ De acuerdo ☐ Muy de acuerdo

Comentarios: _____

Figura E-2: Encuesta de validación Parte 2.