



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
PUEBLA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

COLEGIO: INGENIERÍA CIVIL

**Dispositivo de gestión visual para prevenir incidentes en
obras de vivienda en Puebla, México.**

Tesis

Presentada para obtener el grado de:
Ingeniero Civil

Presenta:
DAVID RICARDO GARCIA MORA

Director de tesis:
PhD. Fernando Daniel Lazcano Hernández

Codirector de tesis:
Dr. José Alfredo Mejía Pérez

Puebla, Pue.

Septiembre 2025



BUAP

Oficio No. SAC/0361/2025

**C. David Ricardo García Mora -201641235-
Pasante de la carrera de Ingeniería
Civil
Presente.**

En atención al Tema de Tesis que puso Usted a consideración de la Coordinación de Área y de esta Secretaría Académica en coordinación con la Dirección de ésta Facultad de Ingeniería, dentro del marco de Titulación por Examen Profesional, como medio de Titulación se dio revisión y se ha autorizado el tema denominado:

“DISPOSITIVO DE GESTIÓN VISUAL PARA PREVENIR INCIDENTES EN OBRAS DE VIVIENDA EN PUEBLA, MÉXICO.”

Por lo anterior hago de su conocimiento que se asigna como Director de Tema al Mtro. Fernando Daniel Lazcano Hernández.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

Atentamente
“Pensar bien para vivir mejor”
H. Puebla de Z. a 07 de febrero de 2025

M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director



M'ACGZ/M'VGL/barv
C.c.p. Archivo

M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director de la Facultad de Ingeniería
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Presente.

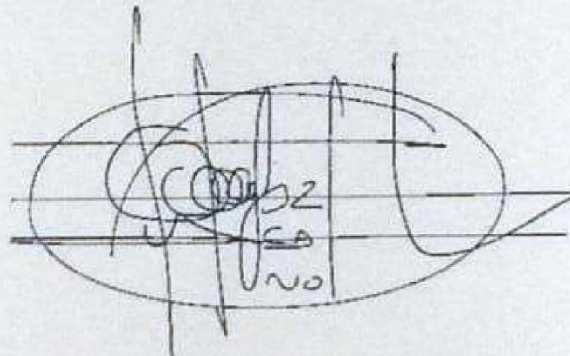
El que suscribe: Mtro. Fernando Daniel Lazcano Hernández, director del tema de tesis:

**“DISPOSITIVO DE GESTIÓN VISUAL PARA PREVENIR INCIDENTES EN OBRAS DE VIVIENDA EN PUEBLA,
MÉXICO.”**

Presentada por el C. David Ricardo García Mora -201641235-, pasante del Colegio de Ingeniería Civil, y en atención al oficio No. SAC/0361/2025 con fecha de emisión 07 de febrero de 2025, me permito informar a Usted que después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, metodología, redacción y ortografía de la tesis correspondiente, no tengo inconveniente en autorizar la impresión de este, cabe mencionar que el Doctor José Alfredo Mejía Pérez fue el codirector de la investigación para su consideración pertinente en el desarrollo.

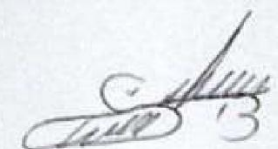
Sin otro particular, le reitero la seguridad de mi más atenta y distinguida consideración.

Atentamente
“Pensar bien, para vivir mejor”
H. Puebla de Z. a 25 de agosto de 2025



M. en I. Fernando Daniel Lazcano Hernández
Director de Tema

M'FDLH/BARV
C.c.p. Archivo


Vo. Bo.
SILVIA CONTRERAS BOMMILA
COORDINADORA DE
ICV

Agradecimientos.

A los Maestros que acompañaron mi formación durante mi estancia en la universidad.

A mis amigos y compañeros por brindarme su amistad y camaradería.

A mi familia por cobijarme e impulsarme en todos mis sueños y proyectos.

A Gema Onofre por estar presente en esta etapa de mi vida.

Dedicatoria.

Este trabajo de investigación está dedicado a mi familia, en especial a mis papás, Conrado García Olivares e Irma Mora Ortiz, sin ellos no hubiese podido llegar hasta este punto.

También a mis hermanos Juan, Daniel y Bernardo los cuales siempre estuvieron dándome ánimos.

Dedico este trabajo a Gema Onofre quien me ayudo cuando las ideas eran desorganizadas en mi mente.

Resumen.

La industria de construcción de vivienda en México enfrenta dificultades que se reflejan en su baja productividad y altos costos. Debido al crecimiento demográfico experimentado a lo largo del país, la construcción de vivienda se ha vuelto un tema de interés para buscar nuevas técnicas, tecnologías y metodologías que hagan frente a estos problemas. Entre las metodologías existentes, se encuentra la Gestión Visual la cual consiste en obtener con una mirada superficial o ligera la información necesaria para conocer el estado actual de una obra o proyecto. La implementación de dicha metodología se remonta al Toyota Way con pensamientos como el Kaizen, el cual refiere a una mejora continua. Para su desarrollo, la Gestión Visual ha empleado herramientas de tipo indicador visual, señal visual, garantía y controles visuales, además, toma pensamientos y herramientas de la filosofía Lean como el Kanban, el JIT, 5s, Kaizen, y Andon, cuyas características principales son la implementación de gráficos de gestión visual, la adquisición de insumos justo cuando se requieren, y el perfeccionamiento continuo. Cuando se desarrolló Lean Construction implemento otras herramientas y técnicas útiles para la Gestión Visual ejemplo de ellas es el Last Planner System y BIM.

La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar un dispositivo a partir de la herramienta Andon, de tipo semáforo de gestión visual, que permita controlar los incidentes que pueden ocurrir durante la ejecución de un proyecto, además se investiga sobre los incidentes más comunes, si estos incidentes generan algún tipo de desperdicio y su nivel de impacto que genera en el ciclo de vida del proyecto. Al mismo tiempo se analiza el funcionamiento del dispositivo y como su puesta en marcha promueve la mejora continua en el sitio de construcción.

Abstract.

The housing construction industry in Mexico faces difficulties that are reflected in its low productivity and high costs. Due to the demographic growth experienced throughout the country, housing construction has become a topic of interest to seek new techniques, technologies and methodologies to address these problems. Among the existing methodologies is Visual Management, which consists of obtaining with a superficial or light look the necessary information to know the current status of a work or project. The implementation of this methodology goes back to the Toyota Way with thoughts such as Kaizen, which refers to continuous improvement. For its development, Visual Management has used tools such as visual indicator, visual signal, visual assurance and visual controls, in addition, it takes thoughts and tools from the Lean philosophy such as Kanban, JIT, 5s, Kaizen, and Andon, whose main features are the implementation of visual management charts, the acquisition of inputs just when they are required, and continuous improvement. When Lean Construction was developed, it implemented other tools and techniques useful for Visual Management such as the Last Planner System and BIM.

The objective of this research was to design a device based on the Andon tool, of the visual management semaphore type, which allows the control of incidents that may occur during the execution of a project, in addition to investigating the most common incidents, whether these incidents generate some type of waste and their level of impact on the project life cycle. At the same time, the operation of the device is analyzed and how its implementation promotes continuous improvement at the construction site.

Contenido

Índice de imágenes.....	i
Índice de gráficos.....	iv
Índice de tablas.	iv
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Justificación.....	2
1.2 Objetivos.	3
General.....	3
Particulares.....	3
1.3 Marco Teórico.....	4
1.4 Hipótesis.....	5
Capítulo 2. Antecedentes Históricos.	6
2.1 El Estilo Toyota – Toyota Way.....	6
Sistema de Producción Toyota.....	7
Las 3 MU.	11
Los 9 Desperdicios.	12
La Casa y los 14 Principios del Toyota Production System.	16
2.2 Lean Manufacturing y Lean Production.	22
Los 5 Principios Lean.	23
Herramientas y Técnicas.	24
El Just In Time.	26
2.3 Lean Construction.	31
Herramientas y Técnicas.	32
Last Planner System ®.....	33
2.4 La metodología BIM.	35

Las dimensiones de BIM.	37
2.5 La Gestión Visual (El Control a Primera Vista).....	40
Gestión Visual en Lean Construction.	42
Herramientas Visuales.....	44
Las Señales Visuales ANDON.	47
Capítulo 3. La vivienda en Puebla, México.	52
3.1 Población y vivienda.	52
3.2 Panorama de la vivienda.	54
3.3 Control de calidad en la construcción.	56
3.4 Materiales en la construcción de vivienda.....	58
Capítulo 4. Elementos para sistematizar la construcción con gestión visual.	60
4.1 Construcción estandarizada.	60
Elementos para lograr la construcción estandarizada.	60
Ventajas de la construcción estandarizada.	62
La gestión visual en la construcción estandarizada.	62
4.2 Los semáforos en las industrias y la construcción.	64
4.3 Conectando la teoría con la práctica.....	68
4.4 Los principales incidentes en la etapa de construcción de una vivienda relacionándolos a los 9 desperdicios.	69
Identificación de la gravedad de un incidente	73
Capítulo 5. Diseño programación y puesta en marcha del dispositivo	75
5.1 Elección de componentes (ARDUINO).....	75
5.2 Open PLC.....	77
Guía para usar Open PLC	78
5.3 Programación del código	83

4.3.1 Diagrama de flujo.....	87
5.4 Presentación del dispositivo	88
5.5 Funcionamiento del dispositivo	90
5.6 Mejoras futuras del dispositivo.....	92
5.7 Aplicación teórica - práctica.....	93
Capítulo 6. Conclusiones	99
Referencias.	102
Abreviaturas.	108
Anexos.	109

Índice de imágenes.

<i>Imagen 1. Ensamblaje de vehículos FORD. Fuente: https://lubridealer.com/2021/07/19/la-linea-al-exito-de-henry-automovilismo-blog-lubridealer/</i>	6
<i>Imagen 2. Telares diseñados por Sakichi Toyoda. Fuente: https://www.timetoast.com/timelines/historia-de-toyota-63e11787-5ba9-4f5c-b50c-1fb7132584aa</i>	8
<i>Imagen 3. Sakichi Toyoda. Fuente: https://www.seas.es/blog/varios/de-sakichi-a-kiichiro-el-origen-de-toyota/</i>	8
<i>Imagen 4. Kiichiro Toyoda. Fuente: https://www.clasicosalvolante.com/toyota-repasa-la-vida-de-su-fundador-kiichiro-toyoda-con-exposiciones/</i>	9
<i>Imagen 5. Vehículo A1. Fuente: https://www.facebook.com/ToyotaGuatemala/photos/el-modelo-a1-de-toyota-fue-el-primer-prototipo-de-auto-para-pasajeros-producido-/472875456112603/</i>	10
<i>Imagen 6. Eiji Toyoda. Fuente: https://prabook.com/web/eiji.toyoda/3737016</i>	10
<i>Imagen 7. Taiichi Ohno. Fuente: https://maestrosquality.blogspot.com/p/blog-page_108.html</i>	10
<i>Imagen 8. Las 3 Mu. Fuente: https://avpsonline.com/3-m-parte-i/</i>	12
<i>Imagen 9. Pasos para identificar los residuos. Fuente: Propia.</i>	13
<i>Imagen 10. Los 9 desperdicios. Fuente: Presentación de examen profesional. García (2023)</i>	14
<i>Imagen 11. Casa del Toyota Production System. Fuente: Libro Lean Construction Magnament. Gao & Low (2014)</i>	17
<i>Imagen 12. Pirámide 4P de Toyota. Referencia: Artículo Las claves del éxito de Toyota. Toledano et al. (2009)</i>	18
<i>Imagen 13. Representación de cadena de valor. Fuente: Libro introducción a Lean Construction. Pons (2014)</i>	24
<i>Imagen 14. Las 5 S. Fuente: https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/qu%C3%A9-es-y-c%C3%B3mo-aplicar-la-metodolog%C3%ADa-5s-en-su-empresa</i>	26
<i>Imagen 15. Objetivos de JIT. Fuente: Instituto de Productividad Empresarial Aplicada</i>	27
<i>Imagen 16. Tablero Kanban. Fuente: https://metodologiascrum.top/que-es-kanban-y-para-que-sirve/</i>	28
<i>Imagen 17. Dispositivo de detección automática. Fuente: https://proalnet.com/blog/60-como-calcular-el-oee-maquinas-individuales-vs-linea-de-produccion-vs-fabrica-completa/</i>	29
<i>Imagen 18. Herramienta Andon. Fuente: https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/andon-control-visual-qu%C3%A9-es-tipos-y-ejemplos-de-aplicaci%C3%B3n</i>	29

<i>Imagen 19. Herramienta de los 5 porqués. Fuente: https://doctum.cl/los-5-porques-de-toyota-una-tecnica-para-identificar-y-resolver-problemas/</i>	30
<i>Imagen 20. Enfoque de Lean Construction. Fuente: https://lcimexico.org/</i>	32
<i>Imagen 21. Last Planer System. Fuente: GePro Excelencia sin límites.</i>	34
<i>Imagen 22 Modelo BIM en múltiples fases. Fuente: https://www.teamnet.com.mx/blog/bim-7d</i>	37
<i>Imagen 23. Dimensiones BIM. Fuente: Moret, Salvador. LinkedIn.</i>	38
<i>Imagen 24. Cadena de mejora BIM. Fuente: Implementación de BIM en proyectos inmobiliarios. Salinas & Ulloa (2014)</i>	40
<i>Imagen 25. Cueva de San Borjitas, Sierra de Guadalupe, BCS. Fuente: Secretaría de Cultura GOB</i>	41
<i>Imagen 26. Tablero de control ejemplo de Indicador Visual. Fuente: https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/andon-control-visual/</i>	45
<i>Imagen 27. Señal visual tipo ANDON. Fuente: https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/andon-control-visual-qu%C3%A9-es-tipos-y-ejemplos-de-aplicaci%C3%B3n</i>	45
<i>Imagen 28. Diferentes señaléticas como control visual. Fuente: https://administracion-visual.blogspot.com/2013/11/6_19.html</i>	46
<i>Imagen 29. Pistola dispensadora de gasolina ejemplo de garantía visual. Fuente: https://es.vecteezy.com/foto/14163699-pistola-de-llenado-verde-atascada-en-el-tanque-de-gasolina-de-un-camion-en-una-gasolinera-el-proceso-de-llenar-el-coche-con-combustible-gasolina-d</i>	47
<i>Imagen 30. Generación y detección de un problema o incidente. Fuente: Tesis Diseño de un sistema ANDON en la línea de producción de ladrillos refractarios en la empresa samothermal. Astudillo & Maldonado (2022)</i>	48
<i>Imagen 31. Atención al problema o incidente. Fuente: Tesis Diseño de un sistema ANDON en la línea de producción de ladrillos refractarios en la empresa samothermal. Astudillo & Maldonado (2022)</i>	49
<i>Imagen 32. Problema o incidente solucionado. Fuente: Tesis Diseño de un sistema ANDON en la línea de producción de ladrillos refractarios en la empresa samothermal. Astudillo & Maldonado (2022)</i>	49
<i>Imagen 33. Población de hombres y mujeres en el estado de Puebla. Fuente: INEGI (2020b)</i>	53
<i>Imagen 34. Modulo prefabricado. Fuente: Deconstruyendo la práctica, prototipo de sistema de sistema constructivo industrializado. Rojas & Domínguez (2021)</i>	61
<i>Imagen 35. Elementos de gestión visual presentados al equipo. Fuente: https://es.linkedin.com/pulse/asegurando-la-producci%C3%B3n-en-proyectos-de-construcci%C3%B3n-cesar</i>	63
<i>Imagen 36. Semáforo funcionando en cadena de producción. Fuente: https://ultatek.com/integrador-de-sistemas-andon-para-procesos-de-produccion/</i>	64

<i>Imagen 37. Semaforo de disponibilidad de caja de cobro. Luz roja encendida. Fuente: Propia</i>	65
<i>Imagen 38. Cadena de ensamble con semaforización. Fuente: Toyota. Una historia viviente. Una historia real. Universidad de Toyota (2003)</i>	65
<i>Imagen 39. Diferentes tipos de semáforos de vialidad. Fuente: Tesis "Diseño de un nuevo concepto de semáforos" Bosch (2022)</i>	66
<i>Imagen 40. Semáforos de pista en aeropuerto. Fuente:</i> <i>https://www.istockphoto.com/es/foto/sem%C3%A1foros-de-pista-del-aeropuerto-en-amarillo-precauci%C3%B3n-durante-el-d%C3%ADa-gm1173085986-325688591</i>	66
<i>Imagen 41. Semáforo incrustado en pared de mina. Fuente: YouTube Fabricando</i>	67
<i>Imagen 42. Diagrama conexión teórica-practica. Fuente: propia</i>	68
<i>Imagen 43. Modulo AR-4RELEY. Fuente: Propia</i>	76
<i>Imagen 44. Modulo HC-05 Bluetooth. Fuente: Propia</i>	77
<i>Imagen 45. Modulo ARDUINO UNO. Fuente: Propia</i>	77
<i>Imagen 46. Búsqueda en Google del programa OPEN PLC. Fuente: Propia</i>	78
<i>Imagen 47. Elección de lenguaje de programación, interfaz de OPEN PLC. Fuente: Propia</i>	79
<i>Imagen 48. Iconos para interactuar con los archivos. Fuente: Propio</i>	80
<i>Imagen 49. Iconos para editar el archivo. Fuente: Propia</i>	81
<i>Imagen 50. Menú para carga de archivos. Fuente: Propia</i>	81
<i>Imagen 51. Herramientas para estructurar el programa. Fuente: Propia</i>	82
<i>Imagen 52. Diagrama de conexiones y salidas de la placa ARDUINO UNO a demás componentes. Fuente: Propia</i>	83
<i>Imagen 53. Carpeta con archivos para cargar a la placa ARDUINO UNO. Fuente: Propia</i>	84
<i>Imagen 54. Código Beremiz. Fuente: Propia</i>	84
<i>Imagen 55. Código Main. Fuente: Propia</i>	85
<i>Imagen 56. Diagrama de Flujo para desarrollar el funcionamiento del programa. Fuente: Propia</i>	87
<i>Imagen 57. Modelo A de semáforo para la construcción. Fuente: Propia</i>	88
<i>Imagen 58. Modelado de la cubierta en el programa TinkerCAD. Fuente: Propia</i>	89
<i>Imagen 59. Modelo B de semáforo para la construcción. Fuente: Propia</i>	90
<i>Imagen 60. Diagrama de flujo sobre el funcionamiento del semáforo para la construcción. Fuente: Propia</i>	90
<i>Imagen 61. Conexión dispositivo-celular vía Bluetooth. Fuente: Propia</i>	91

Índice de gráficos.

<i>Gráfico 1. Población por edad y género en el estado de Puebla. Fuente: INEGI (2020b)</i>	<i>53</i>
<i>Gráfico 2. m2 de superficie en terreno por vivienda. Fuente: INEGI, ENVI 2020</i>	<i>54</i>
<i>Gráfico 3. m2 de construcción por vivienda. Fuente: INEGI, ENVI 2020</i>	<i>55</i>
<i>Gráfico 4. Principales problemas en una vivienda. Fuente: INEGI, ENVI 2020.....</i>	<i>55</i>
<i>Gráfico 5. Cantidad de incidentes por semana. Fuente: Propia</i>	<i>95</i>
<i>Gráfico 6. Incidentes a lo largo de las semanas. Fuente: Propia</i>	<i>96</i>
<i>Gráfico 7. Total de incidentes durante la etapa de construcción en porcentaje. Fuente: Propia</i>	<i>98</i>

Índice de tablas.

<i>Tabla 1. Materiales convencionales. Adaptado de: (Apolaya J et al., 2020; Sornoza et al., 2022)</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 2. Materiales no convencionales. Adaptado de: (Apolaya J et al., 2020; Sornoza et al., 2022)</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 3. Materiales alternativos. Adaptado de: (Apolaya J et al., 2020; Sornoza et al., 2022)</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 4. Relación entre desperdicio e incidente. Fuente: Propia</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 5. Lista de incidentes por orden de gravedad en la etapa de Construcción. Fuente: Propia</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 6. Cantidad de incidentes por semana. Fuente: Propia</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 7. Cantidad de incidentes acumulados a lo largo de las semanas. Fuente: Propia</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 8. Conteo de incidentes por tipo de imprevistos en la etapa de construcción. Fuente: Propia</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 9. Conteo de incidentes por tipo de desperdicio en la etapa de construcción. Fuente: Propia</i>	<i>97</i>

Capítulo 1. Introducción.

La industria de la construcción en México con el paso de los años ha enfrentado un rezago en investigación, afectando el desarrollo de nuevas tecnologías o sistemas funcionales que faciliten el control y estandarización de obras.

No existen antecedentes de investigación de Gestión Visual, lo cual es un motivo de preocupación, en otros países existen investigaciones al respecto, Estados Unidos, Inglaterra, Brasil, Chile, Perú entre otros. (Lazcano et al., 2023)

En la industria de la construcción actualmente no hay un dispositivo de gestión visual que ayude a prevenir incidentes en obras de vivienda. Provocando múltiples variaciones en los procesos de construcción o que no se pueda mantener un estándar en la construcción de vivienda, bajos rendimientos y altos costos, de manera semejante la mayor parte de la construcción todavía es realizada por métodos tradicionales o artesanales y aun cuando se habla de los mismos elementos hay una diferencia.

Sin embargo, podemos encontrar dispositivos para la ejecución de obra los cuales se enfocan en la medición del avance, calidad en la obra y un poco de seguridad como lo son las herramientas de medición (medidor de distancias laser, nivel laser, nivel topográfico), dispositivos de control y ubicación de personal, vehículos de carga y maquinaria (balizas para ubicación de personal, GPS), dispositivos de planificación (drones, estación total) y dispositivos de control de calidad (sensores de inspección de concretos, dispositivos móviles, impresoras 3D). (Constructor, 2021; Smart, 2022)

En resumen, estos dispositivos se encuentran enfocados a la medición de calidad o supervisión del avance de la obra, no a la prevención de incidentes.

1.1 Justificación.

Cando se habla de proyectos de inversión generalmente se hace alusión a las grandes compañías manufactureras o ensambladoras las cuales deben su éxito a las diferentes estrategias que emplean, tal es el caso de Toyota, Volkswagen, Ford, Honda entre otras.

De las diferentes estrategias que emplean destacan sus procesos altamente estandarizados, su sistematización de procesos, filosofías o pensamientos, su organización y sus avances tecnológicos.

Según la RAE la estandarización viene de estandarizar y significa ajustar a un patrón común. La estandarización, por lo tanto, implica concertar algo para que resulte coincidente o concordante con un modelo, una norma o una referencia. (Pérez P & Gardey, 2021)

La sistematización de procesos consiste en poner en orden un conjunto de prácticas o procesos que se hacen de forma constante. Es una práctica que permite agilizar los procesos, detectar errores o pérdida de productividad y hacer pasos replicables para cualquiera que desee hacerlo. (Carrasco, 2017; Pérez P & Gardey, 2021)

Al realizar vehículos en grandes cantidades empresas como Toyota o Ford establecieron que entre los diferentes modelos que fabrican ocuparían las mismas piezas logrando así la estandarización en múltiples componentes usados, de igual manera las empresas manufactureras o las empresas ensambladoras de vehículos han estudiado a fondo los elementos involucrados en el proceso a sistematizar ubicándolos en una estructura jerarquizada y ordenada para trazar un camino con los diferentes objetivos que desean alcanzar y proponer una estrategia adecuada.

En la industria automotriz, el Sistema de producción de Toyota (TPS) desarrolló el pensamiento Lean y una filosofía de producción que ha demostrado que también brinda beneficios a otras industrias. (Höök & Stehn, 2008; Lander & Liker, 2007)

En particular, Toyota al tener nuevos mecanismos de estandarización y una sistematización bien definida comenzaron a aplicar mecanismos de mejora continua y progresiva de todos los aspectos de la empresa (metodología Kaizen). Dentro del pensamiento Lean podemos encontrar la herramienta de gestión visual cuya principal función está enfocada a guiar a las personas a una toma de decisiones correcta y oportuna.

Según Haapasalo & Aapaoja (2014), la industria de la construcción de vivienda no es manufacturera, pero sí proporciona elementos que pueden ser aprovechados para mejorar procesos y reducir desperdicios.

Al aplicar la Gestión Visual correctamente puede llegar a transformarse en un sistema funcional para la prevención de incidentes, aportando nuevos enfoques que ayudarían a la estandarización, sistematización y optimización de los procesos constructivos.

1.2 Objetivos.

General.

Diseñar y analizar un dispositivo de gestión visual para mejorar la prevención de incidentes en obras de vivienda vertical y horizontal, para su correcto funcionamiento y la aplicación in situ del dispositivo en Puebla.

Particulares.

Consultar la bibliografía existente y realizar visitas de campo para determinar cuáles son los incidentes que pueden aparecer en obra.

Analizar los incidentes de mayor impacto en la planeación, programación de tiempos y el proceso constructivo de vivienda en Puebla.

Consultar con un especialista en electrónica cual es la mejor manera de unir los componentes para tener un correcto funcionamiento del dispositivo.

Investigar que componentes electrónicos que hay en el mercado que se adapten al funcionamiento del dispositivo.

Plantear como este dispositivo, puede contribuir a la estandarización y sistematización de incidentes en procesos de construcción en obras de vivienda horizontal y vertical sin tomar en cuenta si es residencial o de interés social en Puebla.

1.3 Marco Teórico.

Un dispositivo es un aparato o mecanismo que desarrolla determinadas acciones. Su nombre está vinculado a que dicho artificio está dispuesto para cumplir con su objetivo. (Pérez P & Merino, 2021)

El principio de la gestión visual es guiar a las personas a una toma de decisiones correcta y oportuna. Las formas de gestión visual con las que interactuamos día a día se encuentran en las señales de tránsito, encontramos señales de prohibición las cuales son circulares, así como las de alerta representadas por un triángulo y las informativas indicadas por rectángulos. De igual manera al acudir al supermercado encontramos distintos letreros los cuales nos indican la ubicación de los artículos que necesitamos, promociones o anuncios importantes solo con alzar la vista.

Los dispositivos antes enunciados se basan en los sistemas: Andon, Kan-ban, 5S, KPI y dashboard. Cada uno de estos sistemas tiene diferentes aplicaciones en distintas industrias, como el sector automotriz. (Kamada, 2020)

En el sector automotriz la empresa Toyota emplea el sistema Andon ya que cuenta con señales visuales y auditivas las cuales son el medio por el cual se da la alerta de una posible falla o por la necesidad de asistencia especializada.

Su implementación ocurre en las líneas de producción, colocando un dispositivo visual de color, generalmente una luz, el cual está sobre una estación de trabajo o una maquina especializada. Su información es plasmada en un tablero donde se recopila y se transmite de manera grafica.

Las diferentes industrias que podemos encontrar en México emplean diferentes dispositivos de gestión visual, en la industria alimenticia encontramos las balizas de luz y carteles de señalización. Por otro lado, la industria militar emplea el

sistema de dashboard para visualizar los componentes de los diferentes dispositivos bélicos que fabrican.

En la industria de la construcción aún no hay dispositivos de gestión visual que den una alerta para la prevención de incidentes.

1.4 Hipótesis.

El uso de dispositivos de gestión visual en la industria automotriz, alimentaria y de manufactura tiene un alto impacto a la hora de implementar líneas de producción alertando de una posible falla en los procesos realizados. En la industria de la construcción al tener procesos repetitivos característicos de una línea de producción, ¿Es posible implementar un dispositivo de gestión visual, que pueda prevenir incidentes de obra, ayudando a estandarizar y sistematizar la construcción de vivienda en Puebla?

Capítulo 2. Antecedentes Históricos.

Desde el Toyota Way hasta la filosofía Lean Construction, en este capítulo se explora como ha sido el desarrollo de esta corriente de pensamiento empresarial, se podrá encontrar quienes fueron las personas que tuvieron el sueño y la visión para el desarrollo de un modelo de producción a largo plazo, sin olvidar a que retos y desafíos se enfrentaron, en un entorno donde la economía se encontraba en un periodo de inestabilidad, además, se presentan los principales valores y componentes de la Filosofía Lean.

2.1 El Estilo Toyota – Toyota Way.

El “Toyota Way” o Estilo Toyota en español, es un modelo de gestión empresarial. Nace a partir del estudio de los métodos de fabricación de automóviles de las compañías estadounidenses y los sistemas de abastecimiento de los supermercados, adoptado y mejorado por los fundadores de Toyota 1929.



Imagen 1. Ensamblaje de vehículos FORD. Fuente: <https://lubridealer.com/2021/07/19/la-linea-al-exito-de-henry-automovilismo-blog-lubridealer/>

La manera de actuar de Toyota está basada en dos pilares, la mejora continua y el respeto por la gente. El Estilo Toyota define la forma en que la gente debe desempeñarse y comportarse para ofrecer los valores de la compañía a los clientes, socios, asociados de negocios y comunidad internacional.

El éxito de Toyota se basa en una filosofía y una visión a largo plazo, además de apoyarse en su capital humano. (Liker, 2004)

El Toyota Way adquiere su reconocimiento por su enfoque en la eficiencia, la calidad y la mejora continua que junto a los valores guían e inspiran a los líderes para el trabajo diario.

A continuación, se detallan los valores fundamentales del TW

Desafío: Consiste en hacer perdurar la visión de largo plazo a la vez que se enfrentan los desafíos con creatividad y coraje necesarios para concretar dicha visión.

Kaizen: Parte de la idea que todo lo bueno siempre puede ser mejor. Al alentar a los trabajadores a identificar y resolver los problemas de manera constante surge el pensamiento “siempre hay lugar para la mejora en especial si es constante”

Genchi genbutsu: Tomar decisiones correctas se vuelve más sencillo cuando vas al origen donde suceden las cosas.

Respeto: Toyota propone que hacer que las personas se sientan valoradas contribuye a que estas se sientan motivadas para lograr mejores resultados.

Trabajo en equipo: Toyota promueve el trabajo entre los empleados de los diferentes departamentos, al haber colaboración la identificación y resolución de problemas se vuelve una tarea fundamental y sencilla.

Estos valores son la base del modelo de producción implementada por Toyota.

Sistema de Producción Toyota.

Liker en su libro “The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer” menciona que Sakichi Toyoda al observar que las mujeres de su familia dependían principalmente de la fabricación de telas, desarrollo diferentes modelos de telares hasta llegar a un telar de alto rendimiento el cual se detenía automáticamente cuando ocurría un error de fabricación o de rotura de hilo, de esta manera mejoro la calidad y redujo los desperdicios.



Telar manual de
madera, 1891



Telar mecanizado,
1896



Telar automático
modelo G, 1924

Imagen 2. Telares diseñados por Sakichi Toyoda. Fuente:
<https://www.timetoast.com/timelines/historia-de-toyota-63e11787-5ba9-4f5c-b50c-1fb7132584aa>

“Convencido de que el automóvil era la industria del futuro, encargo a su hijo Kiichiro Toyoda, también ingeniero, que lanzara la Toyota Automobile Company.”
(Liker, 2004)

Es así como padre e hijo emprenden el desafío de realizar el primer automóvil de manufactura cien por ciento japonesa.



Imagen 3. Sakichi Toyoda. Fuente: <https://www.seas.es/blog/varios/de-sakichi-a-kiichiro-el-origen-de-toyota/>



Imagen 4. Kiichiro Toyoda. Fuente: <https://www.clasicosalvolante.com/toyota-repasa-la-vida-de-su-fundador-kiichiro-toyoda-con-exposiciones/>

Kiichiro Toyoda viajó a los Estados Unidos para observar a los principales fabricantes de automóviles. (Universidad de Toyota, 2003)

Visitó la planta de Ford, cuya producción de flujo continuo le pareció adecuado para sus planes venideros. “A Kiichiro le llamó la atención el sistema de abastecimiento de los supermercados: no había grandes stocks, sino una reposición muy regular basada en el número de productos que quedaban”. (Liker, 2004)

Eiji Toyoda estaba a cargo de la fabricación del primer vehículo de Toyota. Sin embargo, desde 1930, junto con Kiichiro, iniciaron con los primeros diseños del automóvil para la población japonesa.

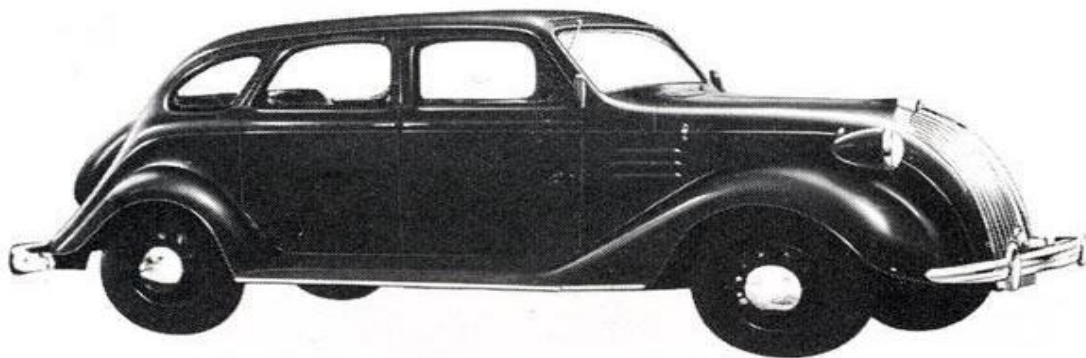


Imagen 5. Vehículo A1. Fuente: <https://www.facebook.com/ToyotaGuatemala/photos/el-modelo-a1-de-toyota-fue-el-primer-prototipo-de-auto-para-pasajeros-producido-472875456112603/>

Taichi Ohno recibió la tarea de mejorar la tecnología para la fabricación automóbiles en Japón. Supervisando estos planes de mejora, Eiji Toyoda nombro a Taiichi Ohno como su mano derecha.



Imagen 6. Eiji Toyoda. Fuente: <https://prabook.com/web/eiji.toyoda/3737016>

Bajo el liderazgo de Eiji Toyoda y Taiichi Ohno, Toyota lideró el desarrollo de lo que hoy se llama Toyota Production System. (Gao & Low, 2014)



Imagen 7. Taiichi Ohno. Fuente: https://maestrosquality.blogspot.com/p/blog-page_108.html

El Toyota Production System se creó para beneficio de clientes trabajadores y productos de Toyota además que su desarrolló dio respuesta a los desafíos y

limitaciones que Toyota enfrentaba en ese momento, incluyendo la escasez de recursos y la necesidad de competir en un mercado automovilístico altamente competitivo.

Por otra parte, el TPS se basa en una filosofía de mejora continua, permanecer en la búsqueda constante de la eficiencia y la calidad.

Finalmente, el Toyota Production System se centra en los aspectos técnicos y operativos de la producción; abarca un conjunto de filosofías y prácticas para la mejora, la calidad y la productividad. Es importante mencionar que incorpora conceptos clave como el "just-in-time" (producción solo cuando se necesita), el "jidoka" (automatización con un toque humano), la estandarización de procesos y la identificación y eliminación de desperdicios en todas las etapas del proceso de producción.

Las 3 MU.

Uno de los valores del Toyota Production System se basa en encontrar y eliminar los desperdicios de sus procesos. El TPS trabaja sobre la Muda además de "prestar atención a la Mura y Muri", J. Womack (2006) ya que también provocan desechos dicho de una manera "fuera de lo ordinario". En esta sección se explica en que consiste cada uno.

1. Muda o desperdicio: Se define como la actividad de un proceso que no agrega valor a un producto, por lo contrario, consume recursos. La eliminación de la "muda" o desperdicio, es esencial en el TPS para mejorar la eficiencia y reducir los costos

"Un trabajador que mira una máquina automática mientras la máquina procesa una pieza, no agrega ningún valor. La máquina hace el único trabajo que agrega valor, sin importar cuán atento y afectuoso la mire el trabajador." (Imai, 1998)

2. Mura o sobrecarga: También llamado "Cuello de botella". Este tipo de desperdicio se presenta cuando en una línea de producción se interrumpe el flujo de trabajo. Como lo dice Víctor Ibarra en su publicación

“Manufactura esbelta” “Cualquier variación no prevista produce irregularidad en el proceso, provoca desequilibrio”.

“Cuando una persona toma más tiempo que otras en la realización del trabajo, el trabajo debe ajustarse al ritmo de trabajo de la persona más lenta provocando mura y muda”. (Imai, 1998)

3. Muri o desigualdad: Conocido como “trabajo tensionante o estresante”, se presenta cuando se realizan actividades que requieren esfuerzo o estrés no justificado al personal, maquinaria o equipo.

“Una carga demasiado pesada mental o física. Esperar que una máquina haga más de lo que es capaz de hacer o ha sido diseñado que haga.” (Cagna V, 2022)



Imagen 8. Las 3 Mu. Fuente: <https://avpsonline.com/3-m-parte-i/>

Los 9 Desperdicios.

Los nueve desperdicios es una herramienta para clasificar las denominadas MUDAS que fueron desarrolladas originalmente por el jefe de Toyota ingeniero Taiichi Ohno como el núcleo del sistema de producción de Toyota. (Suárez, 2015)

Su finalidad principal radica en tomar conciencia de los diferentes tipos de desperdicios, así como el impacto que provocan en una empresa. Involucrar a los directivos y al personal involucrado ayuda a identificar y eliminar los desperdicios.

El desperdicio o muda es cualquier actividad que no agregue valor al bien o servicio que se ofrece, y por el cual el cliente no está dispuesto a pagar. (Suárez, 2015)

Rene Domingo en su obra “Identifying and Eliminating The Seven Wastes or Muda” plantea los siguientes pasos para identificar los residuos o desperdicios. (Domingo, 2022)

1. Visibilizar los residuos
2. Tener conciencia en la existencia de los desperdicios
3. Ser responsable de los residuos o desperdicios
4. Medir los residuos
5. Eliminar o disminuir los residuos



Imagen 9. Pasos para identificar los residuos. Fuente: Propia.

Con estos pasos logramos identificar los diferentes desperdicios. Según Domingo (2022), antes de detener el desperdicio o el residuo primero debemos hacerlo visible, reconocerlo como desperdicio, identificar quien es el responsable y por último valorar su tamaño y magnitud.

Para identificar los desperdicios o residuos primero se debe reconocer a que tipo pertenecen, Lorena Ballesteros y Rene Domingo, coinciden en la clasificación siguiente.

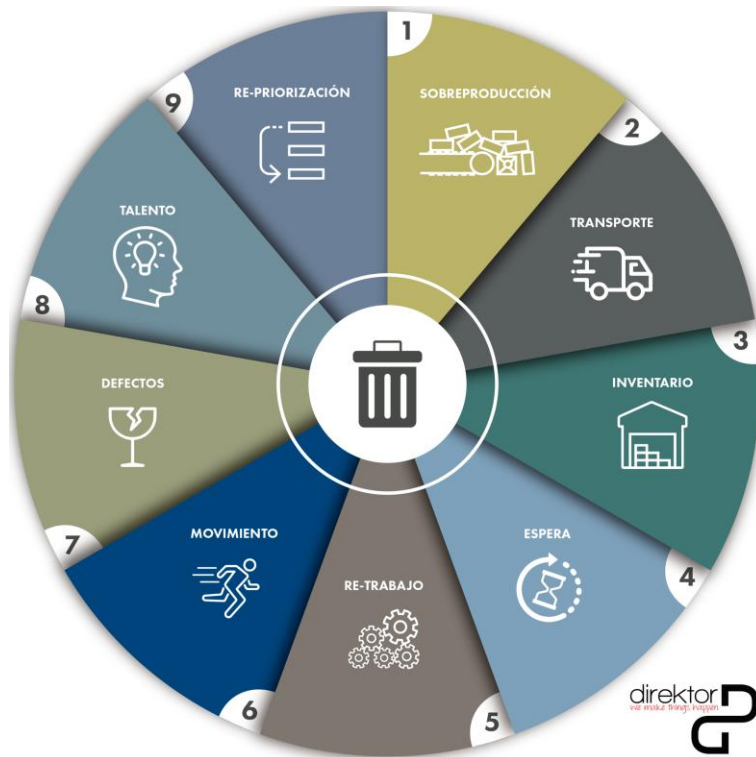


Imagen 10. Los 9 desperdicios. Fuente: Presentación de examen profesional. García (2023)

1. **Desperdicio de sobreproducción:** Producir más de lo necesario o antes de vender lo existente. Muchas empresas ven a esta sobreproducción como activos con valor, cuando en realidad la mayoría de estos caen en la obsolescencia. La sobreproducción se puede producir por mala planificación de la producción, equipos de alta capacidad, malas prácticas de contabilidad.
2. **Exceso de procesamiento:** Realizar más trabajo del necesario, como operaciones adicionales o inspecciones, que no agregan valor al producto final. Pueden derivar de cambios en los productos sin que haya cambiado el proceso, requerimientos sin claridad del cliente, mala comunicación, exceso de supervisión.
3. **Residuos de transporte:** Vinculado principalmente al transporte excesivo de maquinaria, equipos, materias primas o personal. Sus causas se pueden observar cuando hay mala planificación, un lugar desorganizado

para el trabajo, proveedores de materiales en ubicaciones no convenientes.

4. **Pérdida de tiempo en espera:** Se refiere a una persona o maquinaria inactiva o en espera debido a retrasos en la cadena de suministros, mala programación de mantenimientos a la maquinaria además de mala comunicación entre los diferentes departamentos que participan en uno o múltiples procesos. “Esperar a que lleguen tarde a una reunión, esperar que las herramientas comiencen a funcionar, esperar una firma para que un proceso continúe, esperar que llegue un vehículo retrasado para el transporte al sitio de trabajo son ejemplos de este residuo” (Domingo, 2022)

5. **Desperdicio de inventario:** Corresponde a cualquier acumulación de “materiales, materia prima, producto en proceso y producto procesado”. (Tapia et al., 2017)

La acumulación, compra y almacenamiento de productos son las formas más obvias de estos desperdicios, sin embargo, la producción obsoleta y el lento movimiento de la producción desencadenan costos adicionales por almacenamiento.

6. **Desperdicio de movimiento:** Son provocados cuando el personal o la maquinaria realizar movimientos físicos excesivos para realizar una tarea alterando el tiempo de producción y la fatiga del capital humano.

“Una estación de trabajo mal diseñada es causa de que el personal malgaste energía en movimientos innecesarios” (Maldonado, 2008)

7. **Reprocesos por defectos:** Se refiere al desperdicio resultado de la mala calidad o por defectos del producto final. Al no haber un seguimiento adecuado del proceso muchas veces los artículos deben ser reemplazados, reparados o reelaborados hasta que reúnan las condiciones óptimas de calidad especificadas por el cliente o por el consumidor final.

“A ello debe sumarse las pérdidas generadas por los gastos de garantías, servicios técnicos, recambio de productos, y pérdida de clientes y ventas.”
(Maldonado, 2008)

8. **Talento desaprovechado:** La falta de transferencia de conocimiento entre empleados, falta de documentación, falta de desarrollo y retención de talentos son claros ejemplos del desperdicio ya que las habilidades y conocimientos de los empleados son valiosos activos que deben aprovechar las empresas.
9. **Hacer por hacer:** es referente a una situación en la cual una tarea o actividad, inicia cuando no se tienen todos los elementos necesarios para su ejecución, entendiéndose por elementos los materiales, maquinaria, herramientas y personal.

La Casa y los 14 Principios del Toyota Production System.

El Toyota Production System nace por la necesidad. Algunas restricciones en el mercado precisaban de la producción de pequeñas cantidades de muchas variedades en condiciones de poca demanda” (Ohno, 1991)

El principal y más importante objetivo del TPS se comprende en incrementar la eficiencia de producción, eliminando o reduciendo los desperdicios al igual que las pérdidas. Por otra parte, el TPS propone como objetivo, fabricar muchos modelos en pequeñas cantidades.

Es así como el sustento del Toyota Production System es la eliminación completa del residuo, Taiichi Ohno propone como pilares para sustento del sistema al Just In Time o justo a tiempo y la autonomización o automatización con toque humano que a menudo se conoce como JIDOKA.

El pilar justo a tiempo nos orienta a que cada pieza, material o materia prima necesaria debe estar presente justo en el momento en que van a ser usadas y en la cantidad justa sin desperdiciar material o tiempo.

Por otro lado, la autonomización no debe ser confundida con la automatización, una maquina autonomizada con un toque humano es la que tiene conexión con

múltiples mecanismos y sistemas como detección automática, de seguridad, trabajo completo y a prueba de sabotaje, de esta manera se modifica el enfoque de uso de una máquina.

“Cuando ésta trabaja normalmente no es necesario ningún operario. Sólo cuando se para como consecuencia de una situación anormal requerirá de la atención del personal.” (Ohno, 1991)

Implementar el sistema JIT encaminó a los ingenieros de Toyota a desarrollar múltiples herramientas como el flujo continuo, el sistema pull, el cambio rápido y la logística integrada. Toyota también hace uso de diferentes herramientas como la gestión visual, corrección de errores y el Andon centrado al personal y el trabajo en equipo para lograr la estabilidad. Toyota finalmente logra comprender la necesidad de otros elementos fundamentales para dicha estabilidad, procesos estables, estandarizados y nivelados.

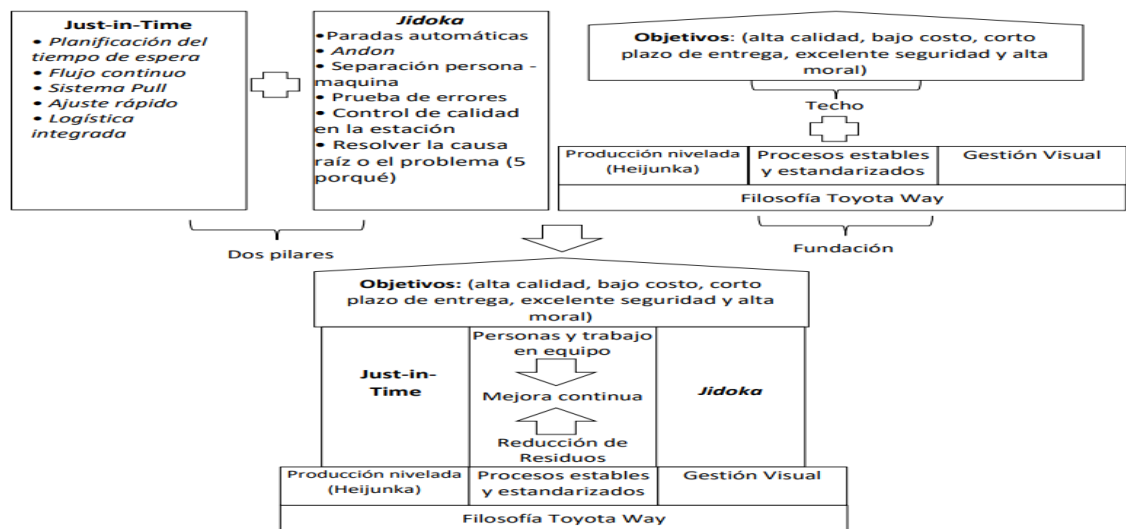


Imagen 11. Casa del Toyota Production System. Fuente: Libro Lean Construction Magnament. Gao & Low (2014)

Los 14 principios, son un grupo de filosofías y prácticas de gestión desarrollados por Toyota con el propósito de mejorar la eficiencia, la calidad y productividad en la fabricación, sin embargo, la gente, empleados o personal, son los que dan vida y soporte al sistema.

El modelo 4P del Toyota Way ofrece una imagen de los valores que constituyen la base del Toyota Production System y cómo estos principios son aplicados en

la práctica. Los principios juntos crean una totalidad que ha convertido a Toyota en una empresa enormemente exitosa y rentable. (Gao & Low, 2014)

PIRÁMIDE “4P” DEL MODELO TOYOTA



Imagen 12. Pirámide 4P de Toyota. Referencia: Artículo Las claves del éxito de Toyota. Toledano et al. (2009)

Organizados de esta manera, la pirámide de las 4P nos da un panorama útil para comprender los principios fundamentales, destacando áreas clave que deben considerarse al implementar esta filosofía en una organización. Para ello es necesario explorar los 14 principios de acuerdo con esta propuesta.

Capa 1 Submodelo de filosofía.

Presentando el principio número uno y la base de la pirámide. Se adentra más a lo filosófico ya que no presenta una línea de acción, más bien llama a la forma de actuar y pensar de una organización.

PRINCIPIO 1 Filosofía a largo plazo. Este principio propone que las decisiones se deben basar en un pensamiento a largo plazo sobreponiendo la ganancia de corto plazo.

Capa 2 submodelo de proceso

Abarcando del principio 2 al 8 encaminan al objetivo de eliminar el desperdicio y mejorar el flujo de trabajo. Si se observa detenidamente cada principio, pueden verse como un sistema integrado que agregar valor a la producción. En resumen, el proceso correcto produce el resultado correcto.

PRINCIPIO 2: “Flujo de una pieza.” Toledano et al. (2009). Este principio propone un flujo ideal es el que va pieza por pieza, cero inventarios y piezas fabricadas de acuerdo con la demanda del cliente, tomando en cuenta el flujo global a lo largo de la cadena de producción.

PRINCIPIO 3: Pull Kanban System. Se ofrece la utilización de sistemas pull (tirar), donde es el cliente el que incita la producción, además del uso de KANBAN cuyo funcionamiento inicia cuando hay escasez de algún producto se manda una señal para iniciar la producción de un lote o cantidad determinada del insumo faltante.

PRINCIPIO 4: Nivelar la carga de trabajo (heijunka). Retomando el concepto de flujo ideal, propone un desacoplamiento del sistema pull que propone el cliente para limitar los otros tipos de desperdicios nivelando la carga de trabajo a base de planes que empleen inventarios de demanda razonable.

PRINCIPIO 5: Calidad incorporada (Jidoka). Crear una cultura de detención para resolver problemas con la finalidad de tener buena “calidad desde el principio, ahorrando tiempo y dinero”. Campos et al., p. (2010, p. 25)

Involucrar a todas las personas del equipo para unir ejecución y calidad detectando los problemas antes de que se produzcan.

PRINCIPIO 6: Tareas estandarizadas. Las tareas estandarizadas son fundamentales para la mejora continua, mientras estén vigentes representan la práctica más útil y reducen la variación, además que proveen de autonomía al empleado.

PRINCIPIO 7: Gestión Visual. Usar gestión visual expone los problemas ayuda a gestionar un equipo. Por otro lado, las ayudas visuales abren el panorama de cómo va la situación de un proyecto.

PRINCIPIO 8: Uso de solo Tecnología confiable, probada al mínimo detalle. Hacer uso de tecnología de punta no siempre es lo mejor, el éxito de una organización se debe a su proceso y su gente, el uso de tecnologías debe ser solo si refuerza las capacidades del operador y si está a sido minuciosamente probada.

Capa 3 submodelo de colaboradores y socios

Este principio se conecta con la importancia de la formación y desarrollo de los empleados, así como las relaciones con los proveedores, Toyota enfatiza la capacitación de sus empleados para fomentar habilidades multifuncionales y una cultura de mejora continua. Además, establece relaciones a largo plazo con sus proveedores para mejorar la calidad y la eficiencia.

PRINCIPIO 9: Líderes y liderazgo. Los líderes se deben elegir cuando se considera que comprenden perfectamente el trabajo, viven la filosofía e instruyen a los demás, al tener una organización que aprende se puede afirmar que hay un correcto liderazgo.

PRINCIPIO 10: Gestión de personas. Desarrollar personas y equipos excepcionales con capacidad de asumir responsabilidades y autonomía además que sigan la filosofía de su empresa de esta manera se obtiene alta organización jerárquica que se alinea con el flujo de valor e interconecta con áreas de decisión y autonomía, este tipo de organización hace innecesaria la presencia de departamentos especializados en control ya que la misma jerarquización cumple estas funciones.

PRINCIPIO 11: Relaciones con los socios. El respeto a los socios y proveedores, manteniendo relaciones estratégicas y a largo plazo logrando una mejor calidad, por otro lado, se debe desafiarles y ayudarles a mejorar para que eventualmente adopten la filosofía de la empresa u organización.

Capa 4 submodelo de mejora continua y resolución de problemas

La solución continua de la causa raíz de los problemas lleva al aprendizaje. Los problemas suelen complicar las cadenas de producción afectando la calidad la seguridad y los costos, principalmente la forma de resolución de problemas ronda a un proceso práctico de resolución de problemas que junto con la toma de decisiones son fundamentales para la calidad, siempre que se tomen buenas decisiones y correctas soluciones los problemas serán mínimos.

PRINCIPIO 12: Genchi Genbutsu. Tomar decisiones correctas se vuelve más sencillo cuando vas al origen donde suceden las cosas. Verificar los datos en el lugar donde suceden las cosas antes de tomar decisiones reduce la variabilidad en los sistemas de producción.

PRINCIPIO 13: Toma de decisiones por consenso. Tomar decisiones tiene la misma importancia que la gestión de la calidad, es bien sabido que las personas son susceptibles a cometer algún error por ello se debe valorar cual fue el proceso que llevo a la toma de decisión, aunque esta sea errada.

PRINCIPIO 14: Reflexión y mejora continua. “Cree flujo y reduzca los inventarios para que los problemas (MUDA) salgan a la vista. Analice los problemas (5 por qué), implante contramedidas y estandarice. Repetir este ciclo constantemente en busca de la excelencia, hace que la organización se convierta en una «organización que aprende».” (Gao & Low, 2014)

2.2 Lean Manufacturing y Lean Production.

La traducción mejor aceptada del vocablo “lean” al español es “magro o magra” que se entiende como “sin grasa”. En combinación “Lean Manufacturing” se puede traducir como Manufactura Magra, pero al realizar la pronunciación no combina del todo bien, por eso se opta por “Manufactura Esbelta o Manufactura Ágil”. Padilla (2010)

La primera vez que se empleó el término “Lean Manufacturing” se remonta al libro “La máquina que cambió al mundo” escrito por James P. Womack (1990), en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) en este libro se encuentran a detalle las herramientas empleadas por las compañías que emplean los principios Lean.

Lean nace a partir del estudio de las técnicas japonesas las cuales comparadas con las técnicas de producción en masa de occidente emplean menos recursos (esfuerzo humano, espacio en la fabricación, inversión de herramienta, aplicación de ingeniería) en el desarrollo y elaboración de un producto. Es considerada como el paso siguiente al TPS ya que aplica los instrumentos desarrollados por Toyota.

Se puede decir que Lean Manufacturing y Lean Production “es un sistema de negocios”. (Villaseñor & Galindo, 2017)

Aunque mayormente ambos términos se usan para la aplicación de los principios o herramientas de TPS algunos expertos hacen ligeras distinciones entre los dos términos.

"Lean Manufacturing" tiende a enfocarse más en la aplicación de los principios lean en el ámbito de la fabricación y la producción de bienes físicos. Mientras que "Lean Production" puede tener un alcance más amplio y aplicarse no solo a la fabricación, sino también a los servicios y otros sectores industriales. (Ávila & Córdoba, 2018)

Para mejor comprensión, Lean es el término que se usa para describir el enfoque de gestión y producción que se centra en la eficiencia, la eliminación de desperdicios y la mejora continua en los procesos empresariales.

Los 5 Principios Lean.

Definidos por Jones & Womack (2003) en 1996 el pensamiento Lean tiene 5 principios básicos, estos proporcionan una guía para las empresas que buscan implementar lean en su operación.

1. Valor: Se define como el aprecio que un cliente o consumidor le da a un producto o servicio para satisfacer sus necesidades a un precio establecido en un momento determinado. Establecer las características o especificaciones que el cliente está dispuesto a pagar.
2. Cadena de valor: Se entiende por cadena de valor a todas las actividades necesarias para transformar la materia prima e información en un producto o servicio terminado para ser entregado al cliente. Se incluyen los conceptos de concepción, diseño, lanzamiento hasta pedido y entrega.

“Un flujo de valor engloba desde la entrada de pedidos de los clientes hasta que se realiza el cobro y desde la solicitud de la materia prima hasta el procesamiento de esta para el cliente.” Villaseñor & Galindo (2017)
3. Flujo: Hacer que las operaciones que crean valor fluyan es el paso que acontece una vez que se han eliminado las operaciones que producen desperdicio o muda evidente. Lean, se enfoca en identificar y eliminar la mayor cantidad de actividades que no agregan valor o provocan muda a la productividad entregando mayor valor al consumidor.
4. Atraer: En lugar de producir basándose en una predicción de la demanda, se establecen sistemas de producción basados en la demanda real del cliente. Esto significa que el trabajo se inicia cuando existe una demanda real, evitando el exceso de inventario y produciendo lo necesario en el momento justo.

5. Búsqueda de perfección: se define como el proceso que proporciona únicamente valor tal y como lo ha solicitado el cliente, sin mudas de ningún tipo. Esto se logra con 3 herramientas fundamentales del pensamiento Lean: la mejora continua (Kaizen), estandarización de procesos y un plan de acción.

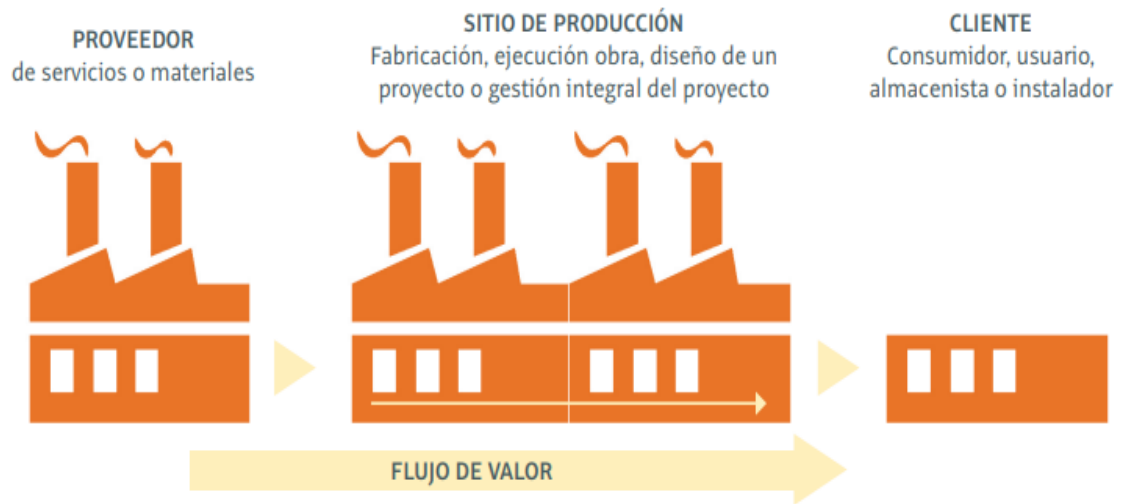


Imagen 13. Representación de cadena de valor. Fuente: Libro introducción a Lean Construction. Pons (2014)

Herramientas y Técnicas.

Para alcanzar el máximo valor que espera el cliente, eliminar los desperdicios y aumentar la eficiencia en los procesos de producción, Lean producción emplea las siguientes herramientas.

1. Sistema Kanban: Es un sistema de señalización para la entrega de pedido correcto en el momento preciso, este permite nivelar la producción. (Tejeda, 2011)
2. Just in time: Es una herramienta para fabricar y suministrar mercancías que se necesiten, cuando se necesiten y en las cantidades exactamente necesitadas. (Toledano et al., 2009).

La filosofía del JIT indica que cuando aparecen problemas debemos enfrentarlos y resolverlos.

3. 5s: Estrategia que tiene la finalidad de crear un lugar digno y seguro donde trabajar con la finalidad de tener una mejora en la productividad. (Medina, 2021).

Aplicar esta herramienta se describe con las palabras que inician con S en el idioma Japonés. (Calderón, 2020). (Imagen 14).

A menudo se emplean las palabras en inglés Sorting (clasificar), Set in order (ordenar), Shine (limpiar), Standardize (estandarizar) y Sustain (Mantener) sin embargo algunos pensadores Lean incorporan una sexta S por Safety (seguridad). (Locher, 2017; Marchwinski et al., 2008).

“Mejorando las condiciones de trabajo en la empresa, orientados hacia el orden y limpieza en el puesto de trabajo”. (Ospino, 2020)

4. Kaizen: Parte de la idea que todo lo bueno siempre puede ser mejor. Al alentar a los trabajadores a identificar y resolver los problemas de manera constante surge el pensamiento “siempre hay lugar para la mejora en especial si es constante”.
5. Value Stream Mapping: El VSM es una herramienta cuya función principal es entender el flujo de material e información de los departamentos, unidades de operación entre otros cuando se pone en marcha un proceso a través de la cadena de valor. (Montañez, 2020)



Imagen 14. Las 5 S. Fuente:

<https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/qu%C3%A9-es-y-c%C3%B3mo-aplicar-la-metodolog%C3%ADa-5s-en-su-empresa>

El Just In Time.

El JIT es una filosofía industrial de eliminación de todo lo que involucre desperdicio en los procesos de producción. Tiene como conceptos básicos el equilibrio, sincronización, flujo, calidad, participación de personal e inventarios mínimos.

El JIT reconoce como desperdicio cualquier actividad que no aporta valor añadido para el cliente o cualquier activo que no intervenga directamente en un proceso que añada valor está dentro del desperdicio.

La finalidad del método Just In Time es mejorar la capacidad de las empresas para adaptarse al cambio económico.

“La descripción convencional del JIT como un sistema para fabricar y suministrar mercancías que se necesiten, cuando se necesiten y en las cantidades exactamente necesitadas.” (Maldonado, 2008)

El JIT plantea los siguientes objetivos como indispensables:

Atacar los problemas: En las empresas la mayor parte del tiempo, el exceso de inventarios o producción logra disimular los problemas causados por otros inconvenientes, conforme el exceso de inventario se vaya reduciendo los

problemas serán detectados más fácilmente, el pensamiento del JIT propone que al momento de aparición de los problemas debemos hacerles frente y resolverlos.

Eliminar desperdicios: su significado inmediato aplicado al contexto del JIT es eliminar todo aquello que no añade valor al producto, empezando por erradicar el derroche donde se realiza el trabajo de esta forma se puede garantizar que las actividades sin valor se eliminen del proceso. El JIT pone énfasis en la necesidad de brindar respeto al personal y tomarlos en consideración cuando opinan sobre la planificación y funcionalidad del complejo de trabajo.

Buscar la sencillez: El JIT se basa en el principio de enfoques simples conducen hacia una gestión más eficaz y ágil. El enfoque simple plantea la eliminación de las rutas complejas e implementar líneas con un flujo más directo.

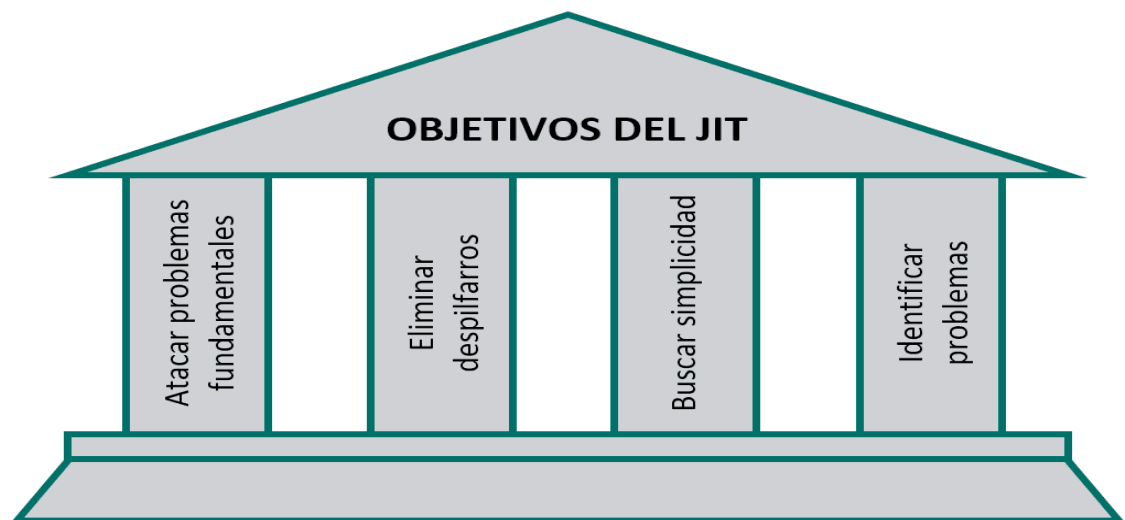


Imagen 15. Objetivos de JIT. Fuente: Instituto de Productividad Empresarial Aplicada

Para su correcta aplicación emplea las herramientas:

Poka Yoke: Es un mecanismo que ayuda a prevenir los errores antes que sucedan, los hace notorios para que el trabajador los visualice y corrija a tiempo.

Cambio rápido: Reduce la cantidad de tiempo que lleva configurar una máquina para producir la siguiente parte. (Liker, 2004)

Flujo continuo: Se refiere al estado en el que los artículos se desplazan de manera individual a lo largo de los procedimientos, siguiendo el ritmo establecido

por las demandas de los clientes. Se establece con los tres principios clave: Solamente lo que se necesita. Justo cuando se necesita. En la cantidad que se necesita.

Kanban: Herramienta de producción altamente efectiva y eficiente por medio de tarjetas, las cuales son usadas para que los trabajadores sepan qué están produciendo, qué características lleva, así como qué van a producir después, que características tendrá y como será transportado. (Maldonado, 2008)



Imagen 16. Tablero Kanban. Fuente: <https://metodologiascrum.top/que-es-kanban-y-para-que-sirve/>

Takt-Time: A razón de demanda del cliente se ajusta el ritmo de producción. Funciona como indicador del tiempo disponible para la producción de una pieza en función del tiempo de funcionamiento disponible y la demanda del cliente.

Detención automática: Se refiere a una técnica que permite que la maquinaria tenga la capacidad de detenerse automáticamente cuando surge un problema llamando la atención del personal para prevenir la replicación de otros problemas afectando la producción.



Imagen 17. Dispositivo de detección automática. Fuente: <https://proalnet.com/blog/60-como-calcular-el-oee-maquinas-individuales-vs-linea-de-produccion-vs-fabrica-completa/>

Andon: Un sistema visual de gestión empleado en la producción, permite al equipo de una línea de producción detectar de manera ágil cualquier inconveniente mediante una serie de luces o señales visuales que reflejan el estado de la producción. (Baculima & Burbano, 2023)

Por otro lado, brinda retroalimentación a los participantes sobre materiales mantenimiento, necesidades de producción, problemas con los equipos, entre otros. (Ibarra & Ballesteros, 2017)

Esta herramienta facilita la mejora constante al facilitar la identificación y pronta resolución de problemas.



Imagen 18. Herramienta Andon. Fuente: <https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/andon-control-visual-qu%C3%A9-es-tipos-y-ejemplos-de-aplicaci%C3%B3n>

5 *porqués*: preguntarse 5 veces “¿Por qué?” hasta determinar cuál es la causa raíz del problema para hacer un plan con la finalidad de eliminarlo. Como el ejemplo de la máquina que deja de trabajar.

“¿Por qué se ha parado la maquina? Hubo una sobrecarga y se fundió el fusible

¿Por qué hubo una sobrecarga? El cojinete no tenía suficiente lubricación

¿Por qué no estaba lubricado? La bomba de lubricación no bombeaba lo suficiente

¿Por qué no bombeaba lo suficiente? El eje de la bomba estaba desgastado y hacia ruido.

¿Por qué se desgastó el eje? No había reten y entraron partículas de metal.”

(Marchwinski et al., 2008)



Imagen 19. Herramienta de los 5 porqués. Fuente: <https://doctum.cl/los-5-porques-de-toyota-una-tecnica-para-identificar-y-resolver-problemas/>

2.3 Lean Construction.

La composición de las palabras “Lean Construction” fue concebido por los fundadores del Grupo Internacional de Lean Construction (IGLC) en el año 1993 años después de aceptarse la filosofía Lean en las industrias manufactureras. (Alarcón, 1997)

Koskela (1992) en su obra “*Aplicación de la nueva filosofía de la producción a la construcción*” plasmo los principios teóricos de Lean aplicados a la construcción. En este estudio Koskela resalto que la producción de la construcción estaba basada únicamente en la transformación y procesos como la generación de valor no recibía suficiente importancia. Posteriormente Koskela menciona que Lean Construction persigue los mismos objetivos de Lean Production, eliminar el desperdicio o MUDA y maximizar el valor.

Por otra parte, el Lean Construction Institute (LCI) define que lean Construction tiene un enfoque de producción basado en la gestión para la entrega de proyectos, lo cual resulta ventajoso a la hora de proyectos complejos con incertidumbre y rapidez.

Porras Díaz et al. (2014) mencionan que estos nuevos sistemas de gestión implementados en la construcción merecen especial atención ya que han mostrado excelentes resultados afectando directamente la economía de los países como lo es Lean Construction.



Imagen 20. Enfoque de Lean Construction. Fuente: <https://lcimexico.org/>

En conclusión, Lean Construction se define como la aplicación de los principios y herramientas del sistema Lean Production adoptando el nombre de “construcción sin perdidas”, “construcción esbelta” o “construcción ajustada”, minimizando el desperdicio y maximizando el valor.

Herramientas y Técnicas.

Lean Construction emplea múltiples herramientas en su metodología, destacando las siguientes:

Last Planner System (LPS): Es un sistema de planificación y control de producción para proyectos de construcción, fue desarrollado por Glenn Ballard y Greg Howell. Su objetivo es aumentar la producción programando las actividades previsibles y sencillas mediante el flujo de trabajo, tiene como directriz mejorar los procesos constructivos y eliminando o reduciendo los desperdicios.

Lean Project Delivery System (LPDS): Es un proceso de colaboración para la dirección integral de los proyectos. Emplea múltiples conceptos para la toma de decisiones con el objetivo de llevar orientar a las personas, sistemas y procesos

Value Stream Mapping (VSM): Enfocada en la cadena de valor, se describe como la herramienta que permite la observación del proceso completo por el cual atraviesa un producto, permite la descripción detallada de cada actividad que

interviene para obtener un producto. Brinda la opción de intervenir y mejorar el flujo para obtener mejores resultados.

Kanban: Herramienta de producción altamente efectiva y eficiente por medio de tarjetas, las cuales son usadas para que los trabajadores sepan qué están produciendo, qué características lleva, así como qué van a producir después, que características tendrá y como será transportado. (Maldonado, 2008)

Pull Planning: Esta herramienta permite la colaboración entre los participantes del proyecto para la planificación de los equipos de trabajo determinando las actividades necesarias y las ligadas entre ellas.

Lean Daily Management (LDM): Herramienta orientada a la revisión diaria y mejora continua para gestionar y resolver problemas más rápidamente. En conjunto con reuniones breves diarias facilitan la comunicación entre los participantes

Building Information Modeling (BIM): Se presenta como una herramienta de modelado virtual multidisciplinario empleado en proyectos de diseño y construcción, facilitando la creación de diseños integrales.

Last Planner System ®.

El Last Planner System es un sistema de planificación y control de producción para proyectos de construcción, fue desarrollado por Glenn Ballard y Greg Howell, con este sistema puede mejorar la variabilidad en los sitios de construcción y permitiendo la disminución de las incertidumbres en las actividades del programa. (Pons & Rubio, 2019)

El ultimo planificador, plantea que el encargado de obra o capataz es la última persona que puede asegurar un correcto flujo de trabajo asignando las tareas directamente a los trabajadores consiguiendo compromisos de entrega fijas, esta situación asoma los principios de un sistema “*PUSH*” de trabajo. Cuando esto se pone en marcha el flujo de trabajo se vuelve más previsible y las obras tienen mejor organización además que las reuniones de trabajo son más cortas y los cuellos de botella e interrupciones en el flujo de trabajo son más evidentes.

El LPS puede ser empleado para definir las tareas “que se supone se deben hacer” y priorizar a las tareas “que realmente deben hacerse”. Llegar a esta premisa involucra la comprensión que las tareas tienen tres categorías: deben, pueden y se harán.

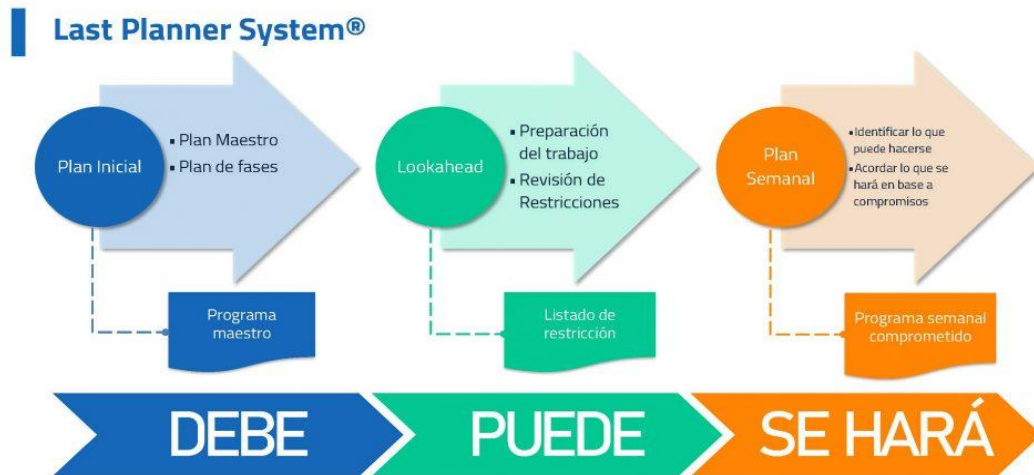


Imagen 21. Last Planer System. Fuente: GePro Excelencia sin límites.

El Last Planer System tiene los siguientes componentes:

Planificación anticipada: En el análisis de las restricciones se propone que ninguna actividad deber ser autorizada si es que las restricciones han sido eliminadas a tiempo, de esta manera las restricciones serán más evidentes antes de la ejecución del proyecto.

Compromiso con la planificación: El porcentaje del plan completado evalúa el porcentaje de compromisos completados, con el podemos medir el rendimiento en la ejecución del proyecto además de identificar los campos de mejora y oportunidades de aprendizaje. Uno de los cambios obligados del LPS es la capacidad de decir “no” si el prerrequisito no es cumplido.

Aprendizaje: No cumplir con las tareas conlleva al análisis de las restricciones hasta encontrar la raíz, planteando las acciones para prevenir que vuelva a suceder.

Introducimos a la planificación general de la obra empleando planificaciones intermedias o semanales es de gran ayuda ya que con estos planes se da

seguimiento a los indicadores de productividad. Las fases de implementación van de la mano con la planificación y las fases son las siguientes:

Plan maestro: Es el cronograma de todas las actividades necesarias para realizar el proyecto, en él se hace el programa que seguirá el proyecto estableciendo los tiempos de ejecución de cada tarea hasta la terminación de la etapa programada.

Programación anticipada: Esta planificación da la oportunidad de ajustar las actividades, es decir, cuando no se está seguro de que una actividad se valla a cumplir la mantiene dentro del periodo de tiempo.

Planificación semanal: Este plan señala las acciones disponibles respecto a lo que es necesario hacer, así como lo que se llevará a cabo durante la próxima semana.

2.4 La metodología BIM.

BIM es el acrónimo de Building Information Modeling o Modelado de la información del edificio, se trata de una metodología que busca la colaboración entre las partes involucradas en las etapas de desarrollo de un proyecto edificio apoyándose de softwares con herramientas de análisis, gestión y librerías digitales cuyo contenido provee de información sobre el proyecto. (Coloma, 2008)

Dentro de la información contenida en las librerías, se presenta la planificación, diseño, construcción y gestión del edificio, también se puede encontrar información sobre la geometría, el diseño del edificio, el proceso constructivo, propiedades físicas y funcionalidad.

Actualmente el uso de BIM permite realizar un modelo o construcción virtual del edificio previo a su construcción física, facilitando procesos, permitiéndonos anticipar el funcionamiento de la edificación lo que conlleva a la reducción de incidentes, problemas e insuficiencias.

Retomando la idea de Bartels et al. (2023) donde menciona que generalmente los modelos se dividen en disciplinas individuales como arquitectura, estructuras,

instalaciones entre otros, permite que los especialistas en sus áreas trabajen de forma individual y simultanea reflejando:

- ✓ Objetivos, atributos y parámetros importantes de cada disciplina.
- ✓ Historia y registro de los datos.
- ✓ Reducción de datos basura, trabajando en un solo modelo.

La mayor parte de incidentes ocurridos en la construcción se desarrollan en la etapa de planeación o programación de las actividades, cuando se produce una comunicación poco efectiva entre los equipos que intervienen. Al ser un proceso altamente colaborativo, BIM permite que las partes interesadas y los profesionales especialistas colaboren en la planificación, diseño y construcción del proyecto empleando las siguientes características.

- ✓ Intercambio de información: Cada participante involucrado tiene acceso a la información disponible del proyecto.
- ✓ Gestión de información: Se intercambia información para concluir con éxito el proyecto, involucra las adquisiciones, organización e inventarios.
- ✓ Visual, diseño y construcción: El uso de un sistema de información que respalde los procesos definidos de manera visual, de diseño y construcción.
- ✓ Dimensión adicional en los modelos 3D: Auxilia en la información necesaria que todos los participantes requieren.

Para mitigar los incidentes, BIM recomienda que al iniciar un nuevo proyecto se asigne una biblioteca digital que contenga toda la información del proyecto, puede incluir costos, calendarios, procesos de fabricación, modelos tridimensionales y programas para desarrollar documentos, estimaciones de costo, planeaciones o programas maestros y operaciones futuras. También se propone que la organización implemente las etapas BIM propuestas por (Succar, 2009).

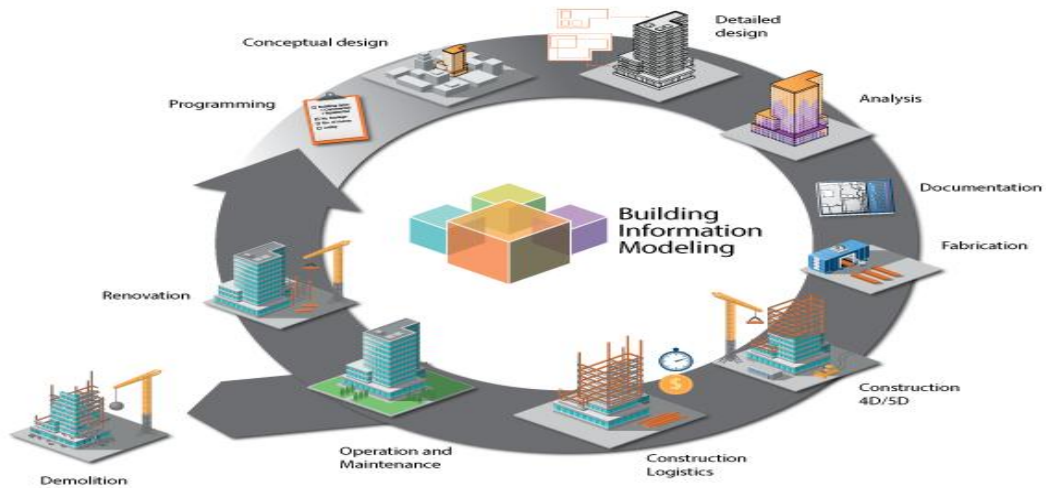


Imagen 22 Modelo BIM en múltiples fases. Fuente:
<https://www.teamnet.com.mx/blog/bim-7d>

Las dimensiones de BIM.

La forma en la que ha evolucionado BIM direcciona hacia un mejor procesamiento de datos incorporando toda la información necesaria para mejorar la comprensión de los proyectos. Conocer las 7 dimensiones que menciona (Adepoju, 2022), nos puede ayudar a entender la forma en que ha evolucionado BIM.

Modelo 3D (Geometría). Trata de la concepción de información gráfica y no gráfica.

Modelo 4D (Tiempo, cronograma y duración). Hablamos de modelos de forma tridimensional que emplean información usada para planificar un proyecto de construcción, al agregar elemento tiempo se agrega una cuarta dimensión.

Modelo 5D (Estimación de costos y análisis de presupuesto). Modelo que se aplica específicamente a área de organización y gerencia de la obra donde se maneja el análisis de costos, detalle de gastos y presupuestos.

Modelo 6D (Sostenibilidad). Tener conocimiento acerca del consumo que requerirá una edificación es parte crítica cuando se analiza la rentabilidad y sostenibilidad de un nuevo proyecto de ahí que se emplea el modelo para su análisis.

Modelo 7D (Gestión de Instalaciones). Tanto el mantenimiento, renovación y planificación de operaciones de los espacios son abordados en este modelo.

Modelo 8D (Seguridad y riesgos laborales). Este modelo implementa una metodología de diseño que al ser aplicada busca reducir e identificar los peligros que se encuentran en el ámbito de la construcción.

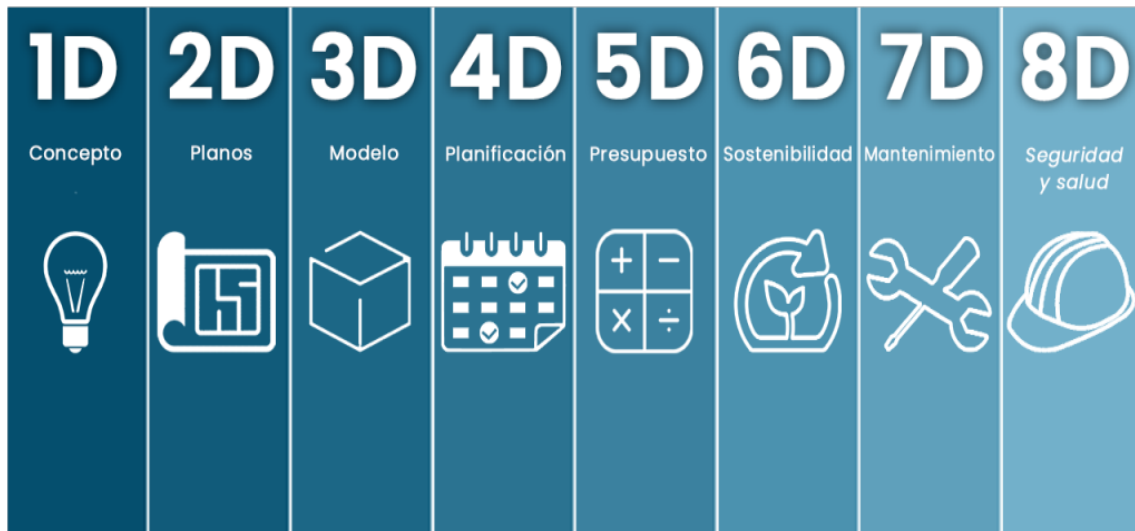


Imagen 23. Dimensiones BIM. Fuente: Moret, Salvador. LinkedIn.

Etapas BIM.

Succar (2009), propone dividir en etapas los niveles de madurez en una organización que implementa BIM. La división de las etapas es propuesta de la siguiente manera, siendo la etapa anterior un pre requisito para poder implementar con éxito la siguiente.

1. Pre BIM. Gran parte de la construcción tiene una dependencia a la documentación. Cuando se realizan visualizaciones 3D a menudo carecen de coherencia y se apoyan en documentación para su detalle. De igual manera la colaboración entre involucrados no es prioritaria y el trabajo es lineal y carece de sincronía. (Salinas & Ulloa, 2014)

2. BIM 1 (modelado basado en el objeto). Implementar BIM se inicia a través del uso de software que brinda parámetros 3D el cual se basa en el objeto tal es el caso de ArchiCAD, Revit, Tekla. En esta etapa los especialistas generan modelos de cualquier etapa del proyecto (operación, construcción o diseño). Los modelos

de entrega son usados principalmente para la automatización, generación y coordinación de documentación 2D. Por otra parte, la colaboración entre involucrados es similar a la etapa pre-BIM ya que el intercambio de datos es unidireccional y la comunicación es asincrónica. (Salinas & Ulloa, 2014)

3. BIM 2 (Colaboración basada en el modelo). Llegar a esta etapa requiere de un mejor acercamiento al manejo del modelo entre colaboradores. A diferencia de la etapa anterior, estos modelos se generan en diferentes fases del proyecto (modelos de arquitectura, diseño estructural, modelos de diseño y de construcción y modelos de operación). En cuanto a comunicación entre colaboradores aún resulta asincrónica, sin embargo, los obstáculos empiezan a reducirse. Los modelos tienen mejor calidad y remplazan a los empleados en etapas anteriores. (Salinas & Ulloa, 2014)

4. BIM 3 (Integración basada en redes). Se crean los modelos integrados, los cuales son trabajados y se mantienen actualizados con la colaboración de los involucrados a lo largo de todas las fases del proyecto. Dichos modelos comienzan a ser interdisciplinarios permitiendo análisis más complejos en las diferentes etapas del proyecto. En esta etapa se incluyen principios de Lean Construction, políticas de ecología y el costo completo del ciclo de vida del proyecto.

Lograr implementar esta etapa requiere de madurez en el dominio de los softwares y redes consolidando un modelo interdisciplinario el cual provee acceso a la información en sentido bidireccional para todos los involucrados. (Salinas & Ulloa, 2014)

5. Entrega de proyectos integrada. Es el enfoque que debe conservar una organización que implementa BIM el cual integra personas, sistemas, estructuras y prácticas en un proceso colaborativo, aprovechando talentos e ideas de todos los involucrados resultando en una optimización del proyecto, incremento de valor, reducción del desperdicio al mismo tiempo que se maximiza la eficiencia en el diseño fabricación y construcción del proyecto. (Salinas & Ulloa, 2014)

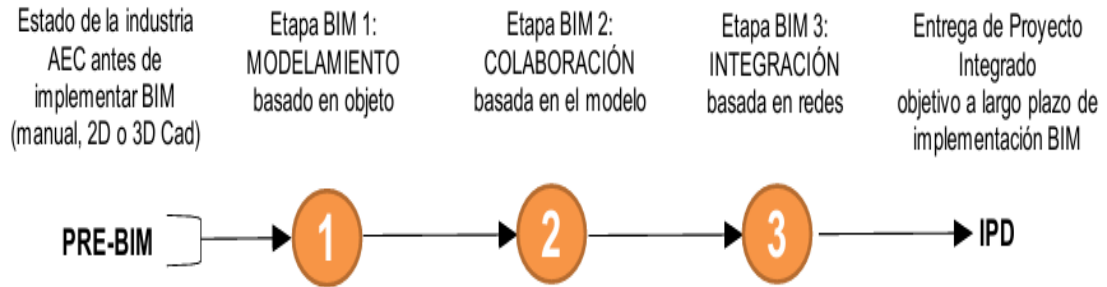


Imagen 24. Cadena de mejora BIM. Fuente: Implementación de BIM en proyectos inmobiliarios. Salinas & Ulloa (2014)

2.5 La Gestión Visual (El Control a Primera Vista).

A lo largo de la historia la humanidad ha realizado elementos visuales con los cuales se expresan ideas, se cuenta historias, se afrontan y se solucionan problemas. Usar elementos gráficos facilita la comunicación de ideas, emociones y experiencias, tal es el caso de las pinturas rupestres, por esta razón se vuelven un indicador de la evolución del lenguaje visual. Gracias a estas pinturas sabemos que la creatividad humana y la comunicación visual es innata en los humanos y precede a la invención de la escritura.

Como lo dice Kepes (1969) en su libro "The language of vision" publicado en el Centro para Estudios Visuales Avanzados del MIT. "La comunicación visual es universal; no conoce límites de lengua, vocabulario, ni gramática y puede ser percibida tanto por las personas analfabetas como por las cultas. El lenguaje visual puede transmitir hechos e ideas de una forma más amplia y profunda que casi cualquier otro medio de comunicación."



Imagen 25. Cueva de San Borjitas, Sierra de Guadalupe, BCS. Fuente: Secretaría de Cultura GOB

Hoy en día la gestión visual es empleada como metodología la cual ha revolucionado la manera de organizar equipos, empresas y proyectos. Su objetivo principal es facilitar la comunicación, la toma de decisiones y la colaboración entre los equipos de trabajo transmitiendo información clave de forma visual.

El Toyota Way plantea que el objetivo de la gestión visual es visibilizar los problemas, los desperdicios y las condiciones anormales para que el equipo de trabajo pueda encarar los problemas y darles solución. Además, Gao & Low (2014) en el libro *Lean Construction Magnament: Estilo Toyota* explora los componentes que debería tener un control visual destacando cinco aspectos.

Comunicación: La comunicación escrita debe ser de fácil acceso.

Visibilidad: Interactuar con imágenes y otros elementos gráficos.

Coherencia: Las actividades deben ser estandarizadas.

Detección: Al detectarse una irregularidad las advertencias y alarmas deben funcionar.

A prueba de fallas: Deben plantearse como prevención.

Por otra parte, para la gestión de proyectos autores como (Brady, 2014; Tezel, 2012) proponen las siguientes definiciones:

- “La gestión visual significa utilizar ayudas visuales para mejorar los procesos de comunicación y promover la mejora continua dentro de un proyecto, proceso u organización.” (Brady, 2014)
- “La gestión visual se plantea como una estrategia de gestión para la mejora de una organización, el control y la medición, la cual utiliza ayudas visuales para externalizar la información, mejorar la comunicación y la transparencia de información en el lugar de trabajo.” (Tezel, 2012)

Bajo este contexto se puede suponer que presentar información de forma visual atrae a las personas ya que la información presentada de manera visual es más sencilla de comprender y procesar para poder actuar, sin embargo, la comunicación oral no debe ser remplazada por elementos visuales, por el contrario, ambas se deben complementar.

Gestión Visual en Lean Construction.

Las bases principales del modelo Lean se enfocan gran parte en la mejora continua y el respeto hacia las personas, lograr que estos aspectos sucedan requiere la implementación de estándares.

En la industria de la construcción se puede implementar la gestión visual al estandarizar los sitios de trabajo como las vías de acceso, caminos dentro de la obra además de la delimitación correcta en las zonas de trabajo, incluir la implementación de prototipos como escantillones, prefabricados y cimbras.

Una vez establecidos los estándares podremos mejorarlos cuando se encuentre una mejor manera, en especial cuando se encuentran vacíos y problemas.

La Gestión Visual se fundamenta en la utilización de herramientas visuales con el propósito de transmitir información de manera precisa y comprensible. (Ibáñez, 2018).

Este enfoque contribuye a optimizar la eficacia y la productividad en proyectos al ofrecer información visualmente accesible y fácil de entender para todo el equipo. Emplea tableros visuales, gráficos, diagramas y otros elementos visuales para

exhibir el flujo de trabajo, las tareas programadas, los problemas, las mejoras y el estado actual del proyecto.

La Gestión Visual incita a la transparencia y la colaboración entre los miembros del equipo de construcción generando alineamiento en objetivos, mejor comunicación y mejora continua en los procesos.

Herramientas Visuales.

Diversos autores convergen en que la gestión visual se puede entender como una estrategia para el control, la medición y la mejora de una organización, empleando ayudas y herramientas visuales para transmitir información y mejorar la comunicación.

Galsworth (1997) Reconoce diversas herramientas visuales específicamente diseñadas para dar forma al comportamiento humano al aplicar la Gestión Visual. Este proceso se lleva a cabo a través de sistemas visuales que incluyen una o más de estas herramientas visuales, entre ellos destacan los siguientes cuatro tipos de herramienta visual.

- I. **Indicadores visuales:** El indicador visual transmite información con el propósito de influenciar en el comportamiento de los equipos de trabajo. Algunos ejemplos de indicadores visuales son: tableros de datos, gráficos, fotos, mapas de flujo de valor. Dentro de la información incluida en estos indicadores se encuentra un estado esperado de metas a alcanzar para la medición del progreso.

Esta es una manera útil de comunicar información importante desde la gestión hasta la operación. Dentro de la industria de la construcción existen dificultades para transmitir la información debido a la sobrecarga de esta.

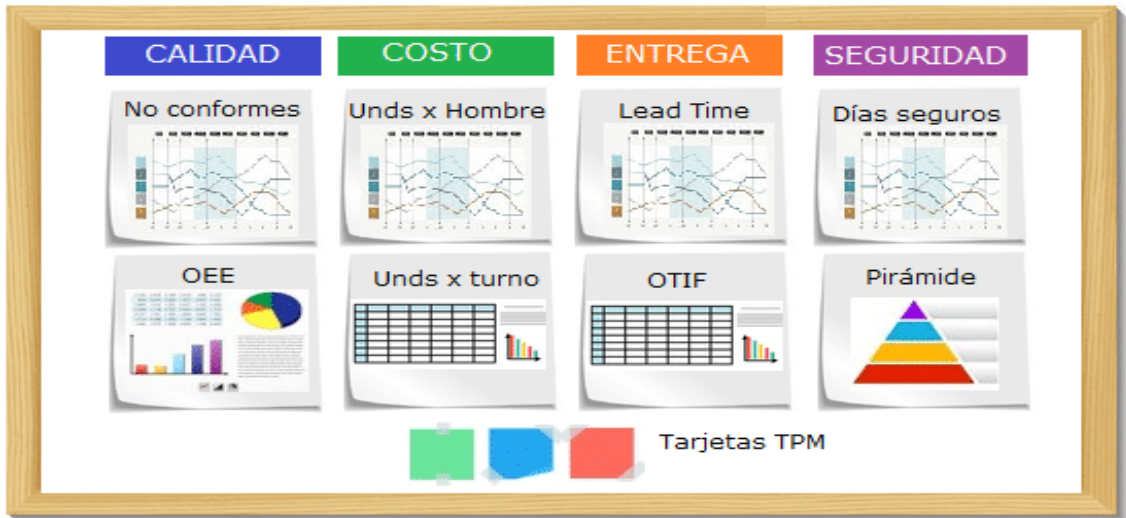


Imagen 26. Tablero de control ejemplo de Indicador Visual. Fuente:
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/andon-control-visual/>

II. **Señales visuales:** Una señal visual llama la atención mediante el uso de estímulos visuales, estas señales visuales propician mucho más control que un indicador visual.

El autor Monden (1998) menciona que el ejemplo más claro de señal visual empleado en el sistema Lean es el tablero ANDON el cual emplea una luz a modo de semáforo el cual alerta de manera visual y audible al líder del equipo cuando se detecta alguna anomalía.



Imagen 27. Señal visual tipo ANDON. Fuente:
<https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/andon-control-visual-que-es-tipos-y-ejemplos-de-aplicacion/>

III. **Controles visuales:** Este tipo de herramienta visual ejerce un control prácticamente total sobre el comportamiento humano, limitando las

respuestas en aspectos como altura, tamaño, cantidad, volumen, peso y dimensiones. Un ejemplo típico de este elemento visual son las líneas en estacionamientos y carreteras. En el sistema de Lean Construction, encontramos ejemplos de control visual, como la codificación por colores, la implementación de Kanban para producción y mantenimiento y la representación gráfica de normas de seguridad.

Liker (2004) emplea el término de “Sistemas de Control Visual” para explicar el funcionamiento de los dispositivos que guían a las personas sobre cómo se deben hacer las cosas además de ayudar a las personas a observar inmediatamente la realización de su trabajo. Estos sistemas se emplean principalmente en los elementos que se relacionan con el proceso.



Imagen 28. Diferentes señaléticas como control visual. Fuente: https://administracion-visual.blogspot.com/2013/11/6_19.html

- IV. **Garantías visuales:** Se centra en el uso de señales visuales o indicadores para prevenir errores o identificar problemas de manera temprana en un proceso. Esto implica utilizar indicadores visuales para asegurarse de que las operaciones se están llevando a cabo correctamente y para detectar posibles desviaciones.

Este tipo de herramienta visual se esfuerza por eliminar el error humano y ejerce el control más humano. Toda la información necesaria se integra de forma mecánica o electrónica en la máquina (por ejemplo, bombas de

gasolina que se detienen automáticamente cuando el tanque está lleno).
(Brady, 2014)



Imagen 29. Pistola dispensadora de gasolina ejemplo de garantía visual. Fuente: <https://es.vecteezy.com/foto/14163699-pistola-de-llenado-verde-atascada-en-el-tanque-de-gasolina-de-un-camion-en-una-gasolinera-el-proceso-de-llenar-el-coche-con-combustible-gasolina-d>

Las Señales Visuales ANDON.

ANDON es una herramienta de gestión visual que permite conocer la situación de una operación con solo dar un vistazo, alertando la aparición de alguna anomalía o desviación.

El vocablo ANDON es un término de japonés, se traduce comúnmente como “lámpara” o “luz de señalización”.

El sistema ANDON se utiliza para visualizar información relevante sobre el estado de la producción en tiempo real. Por lo general, consiste en luces indicadoras que muestran si un proceso está funcionando correctamente, si hay algún problema o si se requiere atención. Estas luces pueden tener diferentes colores y significados, por ejemplo, verde para indicar operación normal, amarillo para señalar una situación de atención y rojo para indicar un problema o una parada en la producción.

La implementación del sistema ANDON tiene varios propósitos:

1. Detección rápida de problemas: Permite a los operadores y supervisores identificar y abordar rápidamente cualquier problema que pueda surgir durante la producción.
2. Mejora continua: Facilita la identificación de áreas de mejora en el proceso de producción, ya que los problemas se destacan de manera visual.
3. Participación del equipo: Involucra a los miembros del equipo en la gestión y mejora del proceso al proporcionar una herramienta visual clara y comprensible.

Funcionamiento del sistema ANDON.

El funcionamiento del sistema ANDON consiste en lo siguiente:

1. Generación y detección de un problema o incidente.

Cuando se genera un problema o incidente en la línea de producción, el sistema activa una alerta que llama al equipo de trabajo, informando el incidente y la ubicación donde se detectó la falla.



Imagen 30. Generación y detección de un problema o incidente. Fuente: Tesis Diseño de un sistema ANDON en la línea de producción de ladrillos refractarios en la empresa samothermal. Astudillo & Maldonado (2022)

2. Procesamiento del problema o incidente.

El personal especializado se presenta al ocurrir la alerta, para generar una respuesta visual informando que se está trabajando en el problema o incidente.

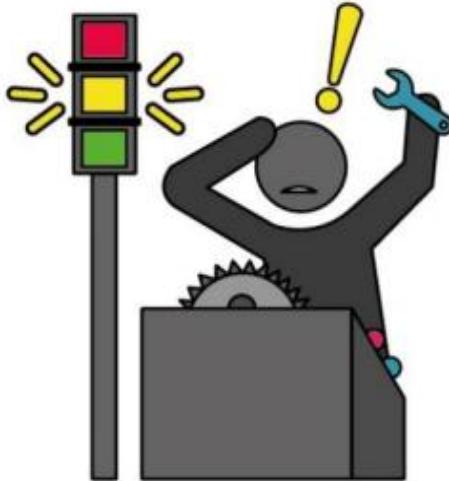


Imagen 31. Atención al problema o incidente. Fuente: Tesis Diseño de un sistema ANDON en la línea de producción de ladrillos refractarios en la empresa samothermal. Astudillo & Maldonado (2022)

3. Problema o incidente solucionado.

Una vez solucionando el problema el personal especializado indica al sistema ANDON que desactive la alarma y se retomen las actividades de operación cotidiana.

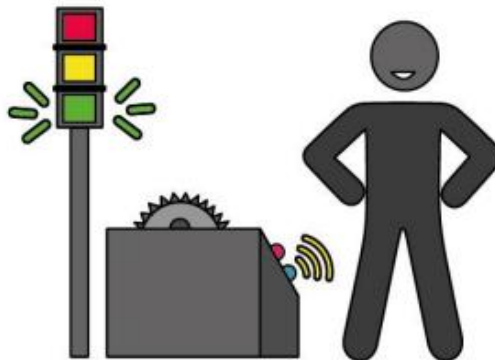


Imagen 32. Problema o incidente solucionado. Fuente: Tesis Diseño de un sistema ANDON en la línea de producción de ladrillos refractarios en la empresa samothermal. Astudillo & Maldonado (2022)

Tipos de sistemas ANDON.

Existen varios tipos de sistemas ANDON, cada uno está diseñado para satisfacer las necesidades específicas en un ambiente de producción.

1. Sistema básico ANDON

Su característica principal es su función más destacada, la solicitud de ayuda, la implementación de un sistema Andon básico suele ser el primer paso en la mejora continua y puede expandirse o personalizarse según las necesidades específicas de la empresa. Se pueden subclasificar de la siguiente manera

a) Señal auditiva y dos señales luminarias.

Este es el primer sistema ANDON, componiéndose de los siguientes elementos.

- I. Pulsadores: Un pulsador de cualquier tamaño, cumpliendo con los estándares de calidad de acuerdo con la industria de aplicación
- II. Señales luminosas: Usar lámparas incandescentes, focos led de alta eficiencia o un monitor con capacidad de generar color. En esta opción de sistema ANDON se emplean los colores rojo y amarillo.
- III. Sirenas o alarmas: Esta debe tener capacidad de ser escuchado en el área de trabajo, empleando un sistema de salida de audio.
- IV. Cableado: Con resistencia suficiente que permita la energización de los diferentes componentes, recibir y mandar información entre componentes.

“Este tipo de sistemas están recomendados para uso en plantas pequeñas que no requieren de un control visual de más de 50 metros y que se encuentren conformadas por líneas de producción sucesivas o por medio de estaciones de trabajo.” (Astudillo & Maldonado, 2022)

b) Señal auditiva y tres señales luminarias.

De forma similar al anterior, este siguiente Sistema ANDON emplea 3 señales luminosas en lugar de dos, además de emplear la mayoría o los mismos componentes, se agregan otros requisitos.

- I. Supervisor de línea: al no usar equipos autónomos se requiere la intervención de un especialista del proceso en ejecución.
- II. Estaciones independientes: se debe tener un sitio de trabajo organizado por líneas de producción continuas o por estaciones de trabajo independiente.

c) Señal auditiva y bandera de tres colores

“Este sistema es una variante al sistema ANDON con señales lumínicas de tres colores, este es de menor alcance por lo que es recomendado implementarlo en plantas de producción con control visual menor a 30 metros.” (Astudillo & Maldonado, 2022)

Banderas de color: Una bandera de color con la cual identificar el estado de la producción, generalmente se propone el uso de los colores rojo, amarillo y verde.

Sirenas o alarmas: Esta debe tener capacidad de ser escuchado en el área de trabajo, empleando un sistema de salida de audio.

Pulsadores: Un pulsador de cualquier tamaño, cumpliendo con los estándares de calidad de acuerdo con la industria de aplicación, en este caso su función será de encendido y apagado de la alarma.

2. Sistema ANDON con tablero de control

“El sistema ANDON integrado a un tablero de control tiene el mismo objetivo del ANDON básico, enviar una alerta al personal informando de algún problema o incidente respecto al proceso en marcha, además se le incorporar otros aspectos que elevan su complejidad, como lo es marcar el ritmo de producción y la inclusión de indicadores que miden la producción.” (Astudillo & Maldonado, 2022)

El uso del sistema ANDON con tablero tiene las siguientes ventajas:

- ✓ Aplicación en plantas de más de 50 metros.
- ✓ Sin necesidad de “líderes” que clasifiquen los incidentes.
- ✓ Implementación en trabajos autónomos.
- ✓ Operarios capacitados en los posibles problemas e incidentes.

Desventajas del sistema ANDON con tablero:

- ✗ Alto costo de instalación.
- ✗ Para plantas de trabajo de producción mediana o grande.
- ✗ Mayor tiempo en capacitación al personal.

Capítulo 3. La vivienda en Puebla, México.

La humanidad a lo largo del tiempo ha tenido la necesidad de protegerse de las inclemencias del medio que lo rodea, es decir la necesidad de vivienda. En el pasado ha empleado materiales que su mismo entorno le proporciona, además de observar que estos brinden comodidad y sean de fácil uso.

En México, la vivienda se considera como uno de los pilares para el bienestar de las familias mexicanas, ya que constituye su principal patrimonio, otorga arraigo, seguridad e identidad. Dicho de otra manera, el hogar es donde se da formación y crecimiento a la familia.

3.1 Población y vivienda.

De acuerdo con el INEGI, el estado de Puebla ocupa el 5° lugar en orden de importancia, debido a su población, contrición económica, infraestructura, desarrollo industrial y cultural. El estado de Puebla posee una ubicación privilegiada al permanecer cerca de la capital además de estar cerca de otras ciudades importantes del país. El estado de Puebla tiene un gran atractivo económico, educativo, laboral y para desarrollo poblacional.

El censo de población y vivienda realizado por el INEGI en el año 2020, publica que en el estado de Puebla la población es de 6,583,278 habitantes, que, en relación con la población del país, representa el 5.2% de población. Además, divide la población por género obteniendo que el 52% son mujeres mientras que el 48% son hombres. Cabe resaltar que la edad promedio de la población ronda en los 14 a 20 años y su distribución queda con un 73% en zona urbana y un 27% en zona rural. (INEGI, 2020c, 2020a, 2020b)

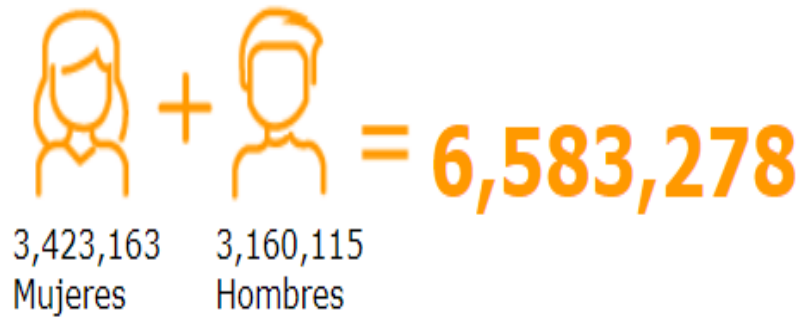


Imagen 33. Población de hombres y mujeres en el estado de Puebla. Fuente: INEGI (2020b)

Se espera que para el año 2030 la población del estado aumente a 7,134,421 habitantes, con una tasa de crecimiento en 0.63% anual proyectada hasta el año 2050.

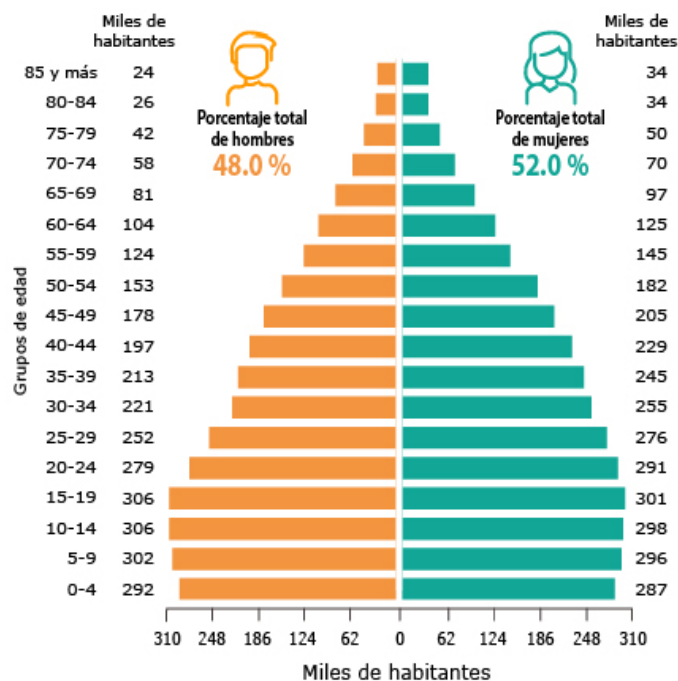


Gráfico 1. Población por edad y género en el estado de Puebla. Fuente: INEGI (2020b)

Por otro lado, el INEGI informa que en el estado de Puebla existen 1,713,381 viviendas habitadas, de lo anterior, el 27% de viviendas es de tres o más habitaciones, el 39% de viviendas es de dos habitaciones y el 34% restante tiene una sola habitación.

“La construcción de vivienda, debido a sus requerimientos en procesos constructivos, especificaciones, tipo de suelo, ubicación, habilidades, estructuras, entre otros. Acopla diferentes equipos de trabajo, razón por la que se considera una industria artesanal.” (García, 2023)

3.2 Panorama de la vivienda.

De acuerdo con los datos del INEGI obtenidos con la encuesta nacional de vivienda (ENVI) en México existe la necesidad de construir mínimo 8.1 millones de viviendas, ante el aumento de la población es probable que el número de estas aumente. (INEGI, 2020c)

Retomando el hilo del párrafo anterior, en México se clasifica la vivienda en relación con la cantidad de metros cuadrados de terreno para una vivienda.

- 90 m² o menos
- 91 m² a 160 m²
- 161 m² a 300m²
- Mas de 300 m²

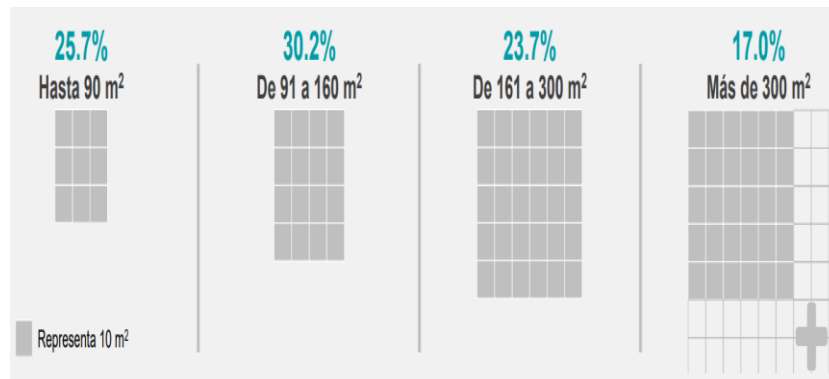


Gráfico 2. m² de superficie en terreno por vivienda. Fuente: INEGI, ENVI 2020

De acuerdo con el gráfico anterior se observa que la gente vive en un terreno de 91 a 160 m².

Por otro lado, la relación con los metros cuadrados de construcción se encontró de esta forma.

- 55 m² o menos

- De 56 m2 a 100 m2
- De 101 m2 a 150 m2
- Superior a 150 m2

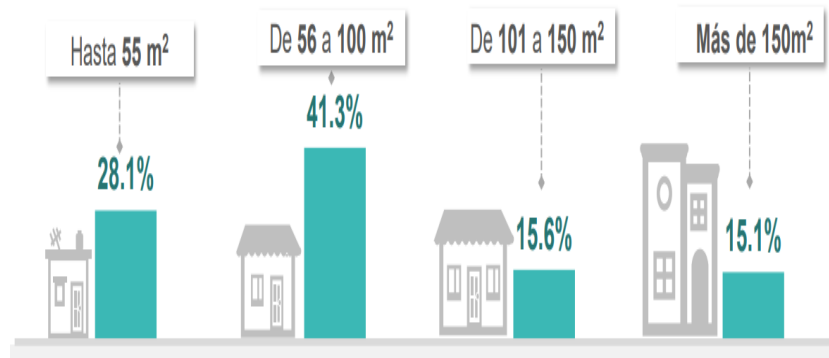


Gráfico 3. m2 de construcción por vivienda. Fuente: INEGI, ENVI 2020

En otra sección de los resultados de ENVI, desglosa los principales problemas técnicos que presentan las viviendas, ya sea en construcción o estructural. Estos problemas pueden poner en riesgo el bienestar o la vida de los habitantes además de presentar un peligro económico latente tanto para el propietario como para el constructor, en caso de que el inmueble se encuentre en su periodo de garantía.



Gráfico 4. Principales problemas en una vivienda. Fuente: INEGI, ENVI 2020

De acuerdo con el grafico anterior, el problema más común en las viviendas corresponde al de humedad, presentándose principalmente en muros, techos y cimientos. En segundo problema corresponde a grietas y cuarteaduras que junto al tercer problema, que es deformación en marcos, puede deberse a un deficiente proceso constructivo o algún movimiento sísmico.

3.3 Control de calidad en la construcción.

En la actualidad es importante tener una vivienda que sea segura, habitable y confortable, por ello la legislación mexicana promueve diversas normas y manuales para la correcta construcción de la vivienda, entre ellos se encuentran las siguientes.

1. Ley de obras públicas y servicios relacionados con las mismas

En ella se puede encontrar las regulaciones de las actividades correspondientes a la planeación, programación, presupuestación, contratación, gasto, ejecución y control de las obras públicas, así como de los servicios que tienen relación con las mismas.

2. Reglamento de la Ley de obras públicas y servicios relacionados con los mismos

En este reglamento se establecen las disposiciones que propician el oportuno y estricto cumplimiento de la ley mencionada.

3. Normas Técnicas Complementarias (NTC)

En las normas técnicas complementarias se encuentran las disposiciones técnicas que fijan los requerimientos mínimos para el diseño y construcción de todo tipo de edificaciones.

4. Código Reglamentario para el Municipio de Puebla

En este código de reglamentación, se pueden encontrar múltiples títulos referentes a diferentes ámbitos que gestiona el municipio, incluido el desarrollo urbano sustentable en el cual podemos encontrar pautas para la construcción.

Además de las normas y reglamentos antes mencionados, durante la formación académica de los futuros ingenieros, se emplean estándares internacionales promovidos por la siguiente norma.

1. Norma ACI 318-19

La Norma ACI está enfocada al diseño de estructuras de concreto y acero las cuales deben cumplir los estándares de Estados Unidos, sin embargo, múltiples países basan sus reglamentos nacionales de construcción en totalidad o en parte de esta norma.

Cabe resaltar que, debido a las múltiples tradiciones y costumbres arraigadas a lo largo del país, muchos de los procesos constructivos tienen ligeras diferencias de lo establecido en los manuales, por esta razón, la mayor parte del tiempo se dejan a criterio del residente, encargado de la obra o director responsable de obra. Ahora bien, también se puede encontrar una regulación de los directores responsables de obra o DRO en las normas y reglamentos mexicanos.

3.4 Materiales en la construcción de vivienda.

En México la construcción de vivienda requiere de una correcta elección de materiales, aspectos como consideraciones técnicas, económicas, estéticas y culturales se deben tomar en cuenta, aunque también los materiales elegidos deben adaptarse a las condiciones climáticas y geográficas del entorno.

Materiales como concreto hidráulico, acero, tabique rojo, block, vigueta, bovedilla de poliestireno y concreto ligero encabezan la lista de los más usados a lo largo de México.

Dentro de esta lista de materiales podemos encontrar los materiales convencionales o más usados, los no convencionales o menos usados y los alternativos.

Materiales convencionales: Son aquellos materiales cuyo uso en la construcción tiene amplia aceptación debido a su amplio tiempo de uso demostrando su eficacia en términos de resistencia, durabilidad y capacidad estructural. Los ejemplos más comunes son:

Material	Características
Concreto hidráulico.	Conglomerado formado por agregados pétreos, cemento portland y agua la cual debe ser homogénea que fragua y endurece adquiriendo gran capacidad de compresión
Acero de refuerzo.	material esencial en la construcción moderna, sus propiedades principales son la ductilidad, soldabilidad, resistencia a flexión y tracción.
Bloque de concreto ligero.	elaborados de mezcla homogénea de suelo pulverizado de bajo peso, agua y cemento portland.
Ladrillo o tabique rojo.	Pieza de construcción elaborada de cerámica o barro, con dimensiones que facilitan su colocación.
Rocas o material pétreo.	Proporciona alta calidad constructiva debido a su resistencia a la flexión o compresión, propiedades fisicoquímicas

Tabla 1. Materiales convencionales. Adaptado de: (Apolaya J et al., 2020; Sornoza et al., 2022)

Materiales no convencionales: son aquellos materiales que como su nombre lo dice son menos comunes ya que han tenido muy poca o nula aplicación en la construcción. Este tipo de materiales a menudo destacan por su novedad,

propiedades y por su innovación tecnológica además su elaboración está motivada por aspectos como la sustentabilidad, la eficiencia, reducción de costos o la búsqueda de solución a problemas específicos.

Algunos materiales no convencionales:

Material	Características
Plásticos	Se emplean principalmente las botellas de PET, tubo de plástico para ventilación, entre otros.
Polímeros y resinas	empleados para elaborar morteros premezclados y otros elementos prefabricados. Alta resistencia a la compresión, módulo de rotura
Cauchos	Es usado principalmente como material reciclado en viviendas ecológicas o sostenibles.
Reciclados	Se emplean principalmente residuos de conteras, sólidos urbanos, cenizas, lodos y maderas.

Tabla 2. Materiales no convencionales. Adaptado de: (Apolaya J et al., 2020; Sornoza et al., 2022)

Materiales alternativos: son aquellos que han sido empleados durante mucho tiempo, existiendo una amplia experiencia en su uso. La elección de materiales alternativos a menudo se basa en consideraciones ambientales, económicas y culturales. Estos materiales buscan proporcionar una alternativa viable y eficaz a los materiales convencionales, contribuyendo a la diversificación y mejora de las prácticas constructivas.

Algunos ejemplos de ellos son:

Material	Características
Adobe	Tiene propiedades mecánicas, ahorro energético, fácil adaptación y amplia disponibilidad, sobre todo en comunidades rurales.
Madera	Con resistencia mecánica alta, elasticidad y ligereza cumple diversas funciones en la construcción.
Bambú	Con propiedades estructurales versátiles, es empleado para reemplazar al concreto, madera o acero
Paja	Las pacas de paja se emplean como elemento estructural, relleno o material aislante

Tabla 3. Materiales alternativos. Adaptado de: (Apolaya J et al., 2020; Sornoza et al., 2022)

Capítulo 4. Elementos para sistematizar la construcción con gestión visual.

Dentro de la industria de la construcción es muy importante poder controlar el avance de una construcción, para ello es indispensable conocer el proceso de construcción a detalle desde la concepción de la idea hasta la demolición si llegara a ser el caso. Por esta razón, la implementación de metodologías, herramientas y de nuevas técnicas juegan un papel importante cuando se busca optimizar el desempeño de un proyecto constructivo. En este capítulo encontraremos cuales son los principales incidentes que se presentan en un proyecto de construcción además de explorar cuáles son los elementos que pueden adaptarse a la producción en serie y si el uso de prefabricados y escantillones se pueden proponer en la estandarización de la vivienda.

4.1 Construcción estandarizada.

Durante mucho tiempo se ha estigmatizado a la industria de la construcción por su bajo rendimiento, productividad y alta producción de residuos comparado con la industria manufacturera, ya que esta se basa en procesos altamente gestionados y estandarizados. Sin embargo, como mencionan Haapasalo & Aapaoja (2014) “La industria de la construcción no es manufactura, pero proporciona elementos que pueden ser aprovechados para mejorar procesos y reducir desperdicios”

Elementos para lograr la construcción estandarizada.

Aki Aapaoja y Harri Haapasalo mencionan en su artículo “Los retos de la normalización de productos y procesos en construcción” que para lograr estandarizar la construcción se deben emplear componentes prefabricados junto con el uso y creación de módulos que tengan la propiedad de ser ensamblados

en el sitio de construcción asemejando a la fabricación industrial. (Haapasalo & Aapaoja, 2014)

Principalmente se deben emplear lo siguiente:

1. Diseño modular: Es referente al diseño y fabricación de un módulo estandarizado que al combinarse se construyan estructuras complejas y se brinde atención a las necesidades del cliente.
2. Prefabricación: Se refiere a la producción de elementos de construcción con dimensiones y especificaciones establecidas que cumplan con el estándar de calidad la cual debe ser rigurosamente supervisada.
3. Estándares de calidad: Al tener un estándar de prefabricación se puede implementar normativa y controles de calidad que aseguren la consistencia y calidad de los prefabricados
4. Tecnologías de la información: Usar herramientas como BIM para el diseño, gestión y organización de los proyectos.
5. Gestión visual: Es referente al uso de dispositivos, tableros, señalización, diagramas para organizar y coordinar cada parte que interviene en un proyecto.



Imagen 34. Modulo prefabricado. Fuente: Deconstruyendo la práctica, prototipo de sistema de sistema constructivo industrializado. Rojas & Domínguez (2021)

Ventajas de la construcción estandarizada.

Estandarizar la construcción ofrece múltiples beneficios, a comparación con la construcción tradicional. Las ventajas más destacadas y que tienen mayor impacto en la industria son las siguientes.

- **Eficiencia:** Empleando una producción de elementos de construcción fuera del sitio de construcción se logran reducir los tiempos de espera entre cada proceso constructivo, de esta manera el proyecto en ejecución se logra completar en menor tiempo.
- **Reducción de costos:** Al tener un estándar de los componentes empleados en los proyectos de construcción, emplear la producción en masa nos brinda la posibilidad de reducir el tiempo de ejecución de los proyectos lo que se traduce en la disminución de los costos de construcción
- **Calidad:** Al producir en masa en un entorno controlado asegura una mayor calidad en los elementos empleados en cada proyecto.
- **Sostenibilidad:** Al tener una construcción estandarizada se logra una mejor gestión de residuos además que se les da un mejor uso a los materiales empleados y se procura mejorar las prácticas de construcción sostenible.

La gestión visual en la construcción estandarizada.

La gestión visual es ampliamente empleada en múltiples industrias, en la construcción estandarizada se puede aplicar en múltiples áreas especialmente en la prevención de errores e incidentes y mejora de la eficiencia. Las áreas que más destacan se encuentra la prefabricación, el transporte, la logística y el sitio de construcción.

Prefabricación: En la planta donde se realizan los elementos prefabricados la GV se puede emplear para organizar las estaciones de trabajo. Se debe asegurar que cada elemento realizado cumpla con las especificaciones, para ello, el uso de tableros visuales con los detalles son una parte importante en la cadena de trabajo, además este tipo de herramienta visual puede mostrar el avance diario y las metas de producción.

Transporte y logística. Emplear GV facilita la coordinación de las salidas, entradas y entregas de materiales, prefabricados y módulos para su ensamble, tanto en la planta como en el sitio de construcción. El uso de etiquetas y códigos QR o de barras permite identificar y dar seguimiento con eficacia a cada elemento, asegurando que llegue en orden necesario.

En sitio de construcción: La GV puede ser empleada para delimitar las zonas de montaje, zonas de peligro, además, se puede hacer uso de señales que informen sobre los procedimientos de seguridad. También, el uso de listas de comprobación es de gran ayuda para mostrar la calidad con la que se va avanzando. Por último, los dispositivos tipo andón mantienen el proyecto en marcha de manera eficiente.



Imagen 35. Elementos de gestión visual presentados al equipo. Fuente: <https://es.linkedin.com/pulse/asegurando-la-producci%C3%B3n-en-proyectos-de-construcci%C3%B3n-cesar>

4.2 Los semáforos en las industrias y la construcción.

El semáforo es un dispositivo que permite clasificar factores de riesgo internos y externos, mediante los colores rojo, amarillo y verde. (Astudillo Yépez et al., 2022)

Los dispositivos de tipo semáforo son ampliamente usados en distintas industrias usados principalmente para la señalización visual, Bosch (2022) informar sobre el estado, condiciones de operación y alertas. Dentro de las industrias que emplean algún tipo de semáforo se encuentran las siguientes.

Industria manufacturera. Principalmente usan los semáforos en las líneas de producción y ensamblaje para mostrar el estado de las máquinas y procesos de producción, además emiten una señal en caso de que el producto no cumpla con las pruebas de calidad.

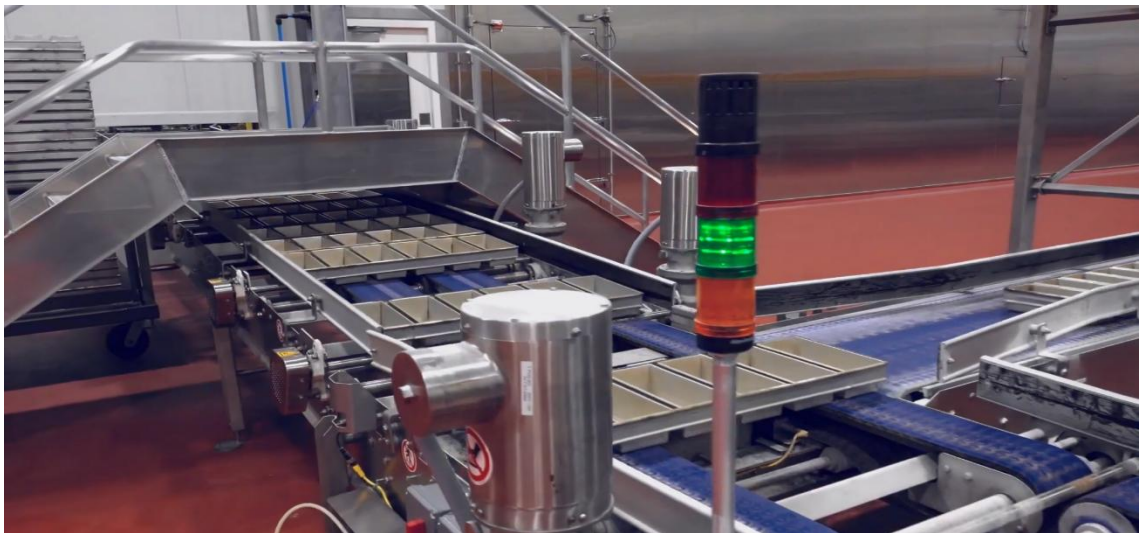


Imagen 36. Semáforo funcionando en cadena de producción. Fuente: <https://ultatek.com/integrador-de-sistemas-andon-para-procesos-de-produccion/>

Sector retail o Almacenes. Generalmente son vistos en las cajas de los centros comerciales, donde informan cual caja está en funcionamiento o si hay alguna detención en el cobro. También se emplean en los almacenes para informar si es seguro hacer una descarga de productos e informan a los operadores de los vehículos si es seguro acercarse o retirarse de la zona de descarga.



Imagen 37. Semaforo de disponibilidad de caja de cobro. Luz roja encendida. Fuente: Propia

Industria automotriz. En esta industria los semáforos se emplean para realizar inspecciones técnicas a los vehículos o si los vehículos han pasado por las pruebas de seguridad. En los talleres informan cuando es seguro mover los vehículos dentro del área de trabajo



Imagen 38. Cadena de ensamble con semaforización. Fuente: Toyota. Una historia viviente. Una historia real. Universidad de Toyota (2003)

Industria alimentaria. Son usados para monitorear el estado del proceso de envasado, indican fallos, pausas o tiempos de mantenimiento. Por otra parte, algunos países emplean un semáforo impreso en sus empaques el cual indica el perfil nutricional del producto.

Controles de tránsito. Posiblemente el semáforo con el que la mayoría de la gente interactúa, ya que gestionan el flujo vehicular en intersecciones y calles. Entre los más usados se encuentran los semáforos peatonales, semáforos de cuenta regresiva, semáforos con alerta sonora.



Imagen 39. Diferentes tipos de semáforos de vialidad. Fuente: Tesis "Diseño de un nuevo concepto de semáforos" Bosch (2022)

Industria aeroespacial. Los semáforos se emplean para indicar si las pistas de aterrizaje se encuentran despejadas o en uso. También se usan en los talleres de mantenimiento de las aeronaves.



Imagen 40. Semáforos de pista en aeropuerto. Fuente: <https://www.istockphoto.com/es/foto/sem%C3%A1foros-de-pista-del-aeropuerto-en-amarillo-precauci%C3%B3n-durante-el-d%C3%ADa-gm1173085986-325688591>

Salud y hospitales. Los semáforos en la industria hospitalaria se emplean principalmente en las salas de operación o áreas restringidas controlando el acceso o informando el estado de la operación en curso.

Industria minera. En esta industria se emplean los semáforos para el control de movimiento de la maquinaria pesada y para informar si es seguro ingresar a la mina previo a la detonación de explosivos.



Imagen 41. Semáforo incrustado en pared de mina. Fuente: YouTube Fabricando

4.3 Conectando la teoría con la práctica.

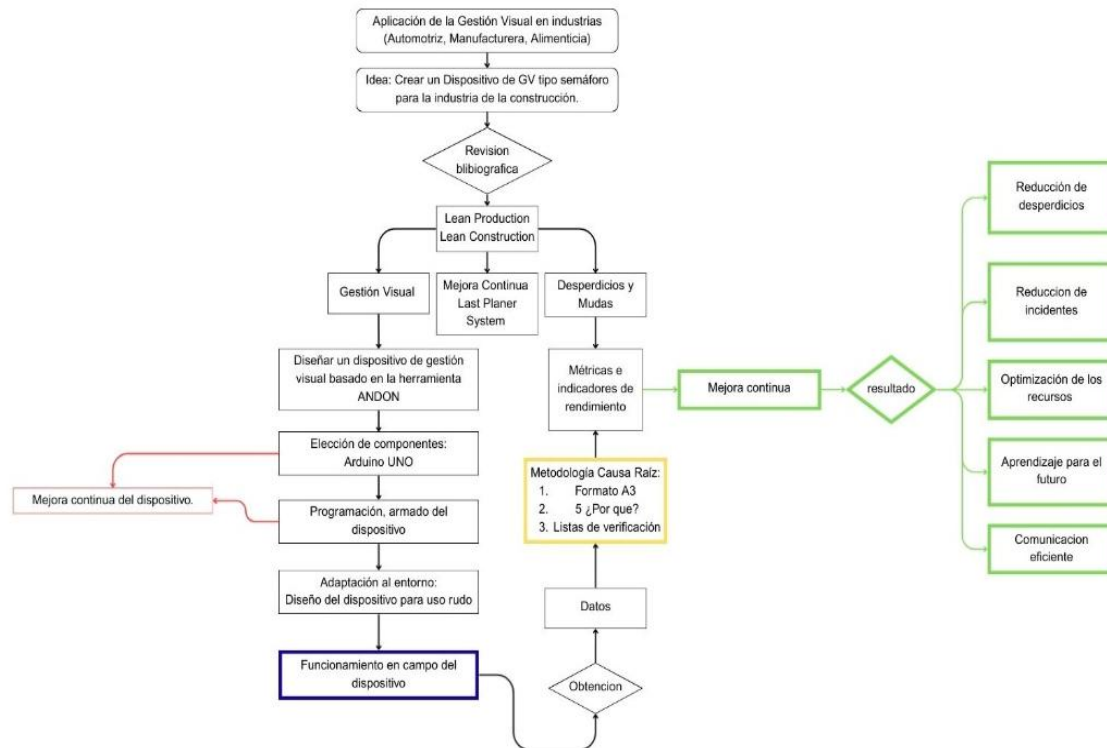


Imagen 42. Diagrama conexión teórica-práctica. Fuente: propia

La forma en que se conecta la teoría y la práctica del semáforo que se pretende construir se basa en el mapa de la Imagen 42. El dispositivo requiere de lineamientos o estándares que lo conduzcan de manera adecuada al cumplimiento de dicho propósito, al adaptar elementos de Lean Construction, particularmente los desperdicios (Mudras) y la mejora continua que permiten la creación de un importante y destacado punto de partida.

Dichos lineamientos o estándares que se propondrán relacionan los imprevistos con las mudas de Lean Construction, las cuales nos indican que tipo de desperdicio se puede generar.

Para conocer los imprevistos que ocurren en cada una de las etapas se permite recurrir a bibliografía o directamente consultarlo con los colegas que laboran en la industria de la construcción.

Por otra parte, el funcionamiento de un semáforo común es ampliamente conocido por los observados en las vialidades, se van a ordenar los imprevistos

de acuerdo con el tipo de muda y etapa del ciclo de vida de un proyecto al que pertenecen, también se ordenan por la magnitud de gravedad que tienen en la ejecución del proyecto constructivo y permiten indicar cual luz debe activarse en el dispositivo.

Esta investigación se enfoca principalmente en la etapa de construcción donde se pondrá en funcionamiento el dispositivo tipo semáforo.

4.4 Los principales incidentes en la etapa de construcción de una vivienda relacionándolos a los 9 desperdicios.

El ciclo de vida de un proyecto de construcción consta de varias fases iniciando con la planificación hasta la entrega final y operación. En cada una de estas fases existe la posibilidad que surjan distintos tipos de incidentes que pueden afectar el desarrollo y conclusión con éxito de un proyecto.

De acuerdo con la metodología BIM hay once fases para el ciclo de vida de un proyecto de construcción: Programación, diseño conceptual, análisis y detalles de diseño, documentación, fabricación, construcción, logística de construcción, operación, mantenimiento, renovación y demolición. Estas fases pueden ser agrupadas en las siguientes etapas: etapa de concepción y diseño, etapa de pre-construcción, etapa de construcción, etapa de cierre y entrega, etapa de operación y mantenimiento. Cada etapa abarca múltiples fases del ciclo de vida, además se pueden agregar otros que son de relevancia quedando de la siguiente manera.

Etapa de concepción y diseño: diseño conceptual, análisis y detalles de diseño.

Etapa de pre-construcción: programación, documentación, fabricación, contrataciones.

Etapa de construcción: construcción, logística de construcción, seguridad.

Etapa de cierre y entrega: operación, recepción de trabajos.

Etapa de post construcción: mantenimiento, renovación o remodelación, demolición.

Dentro de cada etapa se pueden presentar distintos tipos de incidentes. Cada uno de ellos puede afectar de manera diferente el desarrollo de un proyecto. A continuación, se enlistan los incidentes más comunes que se presentan en cada etapa del proyecto

- Etapa de concepción y diseño
 - Cambio de cliente
 - Complicación con el diseño arquitectónico
 - Complicación en los detalles estructurales
 - Desaprovechamiento del talento humano
 - Errores en el diseño
 - Incompatibilidad entre los módulos prediseñados
 - Interferencias entre instalaciones
 - Inviabilidad del proyecto por impacto ambiental
 - Problemas de comunicación para aprobación de planos y documentos
 - Revisiones no planeadas de planos y documentos
- Etapa de pre-construcción
 - Análisis de las normas de seguridad
 - Contrataciones anticipadas o extemporáneas
 - Errores en estimaciones de costos
 - Falta de apoyo técnico
 - Incumplimiento con las normas técnicas
 - Inexactitud en los protocolos de seguridad
 - Planeación inadecuada o deficiente
 - Presupuesto insuficiente para el proyecto

- Problemas con el trámite de permisos
- Programación deficiente del trabajo de equipos y maquinaria
- Selección inadecuada de contratos y subcontratos
- Etapa de construcción
 - Accidentes que afectan a los trabajadores
 - Acumulación de residuos por falta de tiro autorizado
 - Ausencia de los trabajadores en el sitio de trabajo (faltistas)
 - Bajo rendimiento de los trabajadores
 - Cambios de diseño arquitectónico
 - Comunicación deficiente entre los participantes
 - Condiciones inseguras para el trabajo
 - Condiciones meteorológicas desfavorables
 - Daño o averías en la maquinaria
 - Difícil accesibilidad al sitio de trabajo
 - Fabricación excesiva de concretos o morteros
 - Falta de equipo de protección personal (EPP)
 - Falta de insumos y materiales
 - Falta de personal capacitado en la operación de maquinaria.
(Collachagua, 2017)
 - Interferencia entre contratistas.
 - Interrupción en la cadena de suministros.
 - Maquinaria incorrecta.
 - Materiales de mala calidad o calidad deficiente.
 - Orden inadecuado en el trabajo.
 - Organización deficiente en la estación de trabajo
 - Planos desactualizados

- Prerrequisitos no concluidos
- Proceso constructivo erróneo o mal ejecutado. (Alarcon et al., 2017)
- Producción o adquisición de elementos prefabricados
- Reelaboración de elementos estructurales
- Retraso en la toma de muestras para laboratorios y toma excesiva de muestras
- Reubicación de materiales por ubicación incorrecta
- Etapa de cierre y entrega
 - Avance que no corresponde con lo pagado o presupuestado
 - Certificación de calidad no aprobada
 - Control inexistente de los desechos líquidos
 - Problemas con la documentación de entrega
- Etapa de pos-construcción
 - Fallos estructurales
 - Seguimiento deficiente en los trabajos de reparación

Aunque se enlistan múltiples tipos de incidentes, existe la posibilidad que surjan nuevos incidentes específicos de cada proyecto por eso se deben gestionar a través de una planificación adecuada, supervisión continua y comunicación constante entre los involucrados.

Además, también pueden ser agrupados de acuerdo con el tipo de desperdicio que genera cada incidente quedando organizado de la siguiente manera, donde cada imprevisto fue analizado de acuerdo con el tipo de desperdicio que genera para posteriormente se aplicado de manera práctica.

DESPERDICIO	TIPO DE INCIDENTE
SOBREPRODUCCION	Interferencia entre contratistas
	Producción / Adquisición de elementos prefabricados
	Retraso en la toma de muestras para laboratorios / muestras excesivas
SOBREPROCESAMIENTO	Bajo rendimiento de los trabajadores
	Cambios de diseño arquitectónico

	Reelaboración de elementos estructurales
TRANSPORTE	Ausencia de los trabajadores en el sitio de trabajo
	Difícil accesibilidad al sitio de trabajo
	Maquinaria incorrecta
TIEMPO DE ESPERA	Acumulación de residuos / Tiro autorizado
	Condiciones meteorológicas desfavorables
	Daño o averías en la maquinaria
INVENTARIO	Falta de Equipo de protección personal
	Falta de insumos y materiales
	Interrupción en la cadena de suministros
MOVIMIENTOS	Condiciones inseguras para el trabajo
	Organización deficiente en la estación de trabajo
	Reubicación de materiales por ubicación incorrecta
TALENTO DESAPROVECHADO	Accidentes que afectan a los trabajadores
	Comunicación deficiente entre participantes
	Falta de personal capacitado en la operación de maquinaria
DEFECTOS	Materiales de mala calidad o calidad deficiente
	Planos desactualizados
	Proceso constructivo erróneo o mal ejecutado
HACER POR HACER	Fabricación excesiva de concretos o morteros
	Orden inadecuado en el trabajo
	Prerrequisitos no concluidos

Tabla 4. Relación entre desperdicio e incidente. Fuente: Propia

Identificación de la gravedad de un incidente

En el desarrollo de esta investigación se analizó el impacto que tienen los incidentes en la etapa de construcción y de acuerdo con el funcionamiento del semáforo se optó por asignar un color a cada incidente de construcción.

En la etapa de construcción la lista de incidentes se desarrolló de esta forma:

Etapa de Construcción
1) Problemas o incidentes de gravedad crítica. Luz roja encendida
Accidentes que afectan a los trabajadores
Ausencia de los trabajadores en el sitio de trabajo
Falta de personal capacitado en la operación de maquinaria
Daño o averías en la maquinaria
Cambios de diseño arquitectónico
Condiciones meteorológicas desfavorables
Interrupción en la cadena de suministros
Maquinaria incorrecta

Prerrequisitos no concluidos
Retraso en la toma de muestras para laboratorios / muestras excesivas
Producción / Adquisición de elementos prefabricados
Reelaboración de elementos estructurales
2) Problemas o incidentes de gravedad media o moderada. Luz amarilla encendida
Acumulación de residuos / Tiro autorizado
Bajo rendimiento de los trabajadores
Condiciones inseguras para los trabajadores
Difícil accesibilidad al sitio de trabajo
Falta de Equipo de protección personal
Falta de insumos y materiales
interferencia entre contratistas
Materiales de mala calidad o calidad deficiente
Orden inadecuado en el trabajo
Planos desactualizados
Proceso constructivo erróneo o mal ejecutado
Reubicación de materiales por ubicación incorrecta
Comunicación deficiente entre participantes
Fabricación excesiva de concretos o morteros
Organización deficiente en la estación de trabajo
3) Sin incidentes. Luz verde encendida

Tabla 5. Lista de incidentes por orden de gravedad en la etapa de Construcción. Fuente: Propia

Como se puede observar los incidentes detonan el encendido de la luz amarilla, roja o verde dependiendo de la gravedad y el impacto que tengan en el ciclo de vida del proyecto.

Es importante que los incidentes sean resueltos en el menor tiempo posible, de lo contrario se corre el riesgo que estos se compliquen y salten de gravedad e impacto.

Capítulo 5. Diseño programación y puesta en marcha del dispositivo

Uno de los campos de aplicación de la ingeniería se encuentra en el diseño de dispositivos electrónicos que faciliten la vida cotidiana. En la construcción de vivienda en México, se tiene poco diseño e implementación de estos. Sin embargo, cualquier propuesta de avance tecnológico, da pie a la innovación. En este capítulo se estudiará el diseño programación y puesta en marcha de un dispositivo que facilite el intercambio de comunicación entre los diferentes frentes que intervienen en una obra de construcción de vivienda (trabajadores, ingenieros de campo, encargados de compra, entre otros) empleando la metodología de gestión visual.

5.1 Elección de componentes (ARDUINO)

Una de las características de la gestión visual es, cuando se detecta un problema, inmediatamente se debe resolver, diseñar una herramienta de gestión visual basada en una semaforización de incidencias, pone en marcha un análisis que tiene por objeto mostrar el grado de importancia de un incidente, además que informa al usuario el estado en que se encuentra y permite una pronta solución.

El diseño y programación de un dispositivo prototipo, requiere de componentes de uso libre ya que el acceso a sus especificaciones y diagramas generalmente son accesibles al público (no restringidos) de otra manera, si se usara algún dispositivo con licencia o bajo derechos de autor, se estaría obligado a adquirir permiso o licencias de la marca.

Como alternativa viable, se eligieron componentes Arduino, ya que su plataforma es libre y cuenta con otras bondades entre las que destacan su código abierto, hardware y software libre, flexibilidad y fácil adaptación.

La placa Arduino es un microcontrolador Atmel, cuenta con una interfaz de entrada o conexión donde se pueden enlazar diferentes tipos de periféricos. Dentro de los más comunes se encuentran los teclados, para introducir datos y diferentes tipos de sensores. De la misma manera, cuenta con una interfaz de salida, por donde se lleva la información procesada por Arduino hacia diferentes componentes.

Elaborar un dispositivo tipo semáforo de gestión visual requiere de los siguientes periféricos, incluyendo cables de conexión.

MODULO AR-4RELEY: Por su diseño la tarjeta AR-4RELAY puede manipular 4 dispositivos diferentes que requieran voltaje de corriente alterna (127/250 Vca 50/60Hz).

El trabajo que realiza este módulo consiste en conmutar cargas de corriente conectadas a la red eléctrica. Además, soporta todos los microcontroladores y su aplicación se encuentra en zonas industriales.



Imagen 43. Modulo AR-4RELEY. Fuente: Propia

MODULO HC-05 (MODULO BLUETOOTH): Este moduló está diseñado para establecer conexión con cualquier dispositivo telefónico o unidad que cuente con bluetooth.



Imagen 44. Modulo HC-05 Bluetooth. Fuente: Propia

MODULO ARDUINO UNO: “AVR Atmel-8 bits (ATmega8, ATmega168, ATmega328, ATmega1280, ATmega2560), cada microcontrolador consta de diversas cantidades de memoria flash, pines y funciones. Las placas utilizan pines/cabezales hembra de una o dos hileras que facilitan las conexiones e incorporación en otros circuitos. Las placas Arduino pueden conectarse con módulos adicionales denominados shields (escudos), dichos shields aumentan las características técnicas de la placa Arduino en uso, debido a que poseen circuitos específicos que añaden una o más funcionalidades extras a la placa Arduino nativa en la cual se utilice, también se les conoce como placas de expansión” (Lazcano et al., 2023)

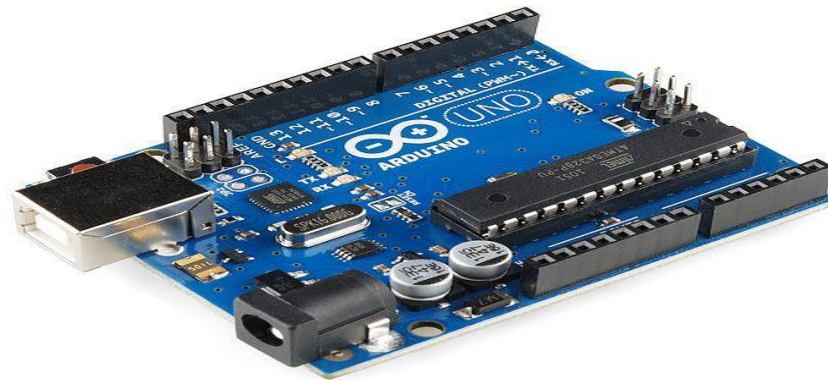


Imagen 45. Modulo ARDUINO UNO. Fuente: Propia

5.2 Open PLC

Elegir los componentes y hacerlos funcionar son dos tareas completamente diferentes, un dispositivo que no tiene una tarea asignada se vuelve un pisapapeles. Introducir una programación en la placa Arduino requiere de solucionar como hacerlo.

La plataforma Open PLC es la herramienta indicada para poder realizar la programación del dispositivo, ya que cuenta con código abierto y consta de dos partes principales para la creación y programación de un código. La primera de ellas se refiere al editor, donde se diseña, compila y cargan los programas. La segunda parte corresponde al “RunTime” que es el responsable del ejecutar los programas creados en el editor.

“El editor fue diseñado según el estándar internacional IEC y admite los cinco lenguajes de programación de PLC; Diagrama de letras, texto estructurado, lista de instrucciones, diagrama de bloques de funciones y grafico de funciones secuenciales.”(Alves, 2021)

Por otro lado, el “RunTime” “Es el sistema que se encarga de correr o ejecutar los programas desde cualquier microcontrolador o servidor en la nube. El RunTime posee una interfaz web para facilitar la administración. Se puede ejecutar en una plataforma embebida con Linux como ser un Raspberry Pi y derivados, o como softPLC en un ordenador Linux (o Windows).” (Mejía, A. 2023)

Actualmente Open PLC RunTime es compatible con: Arduino uno, Arduino Mega, Arduino Nano Every, Arduino RB2040 connect, Arduino Mkr, Arduino Pro, entre otros.

Guía para usar Open PLC

La puesta en marcha de Open PLC es sencilla. El primer paso es ingresar el nombre del programa en el buscador o navegador web y descargar el instalador de la página oficial (<https://autonomylogic.com>).

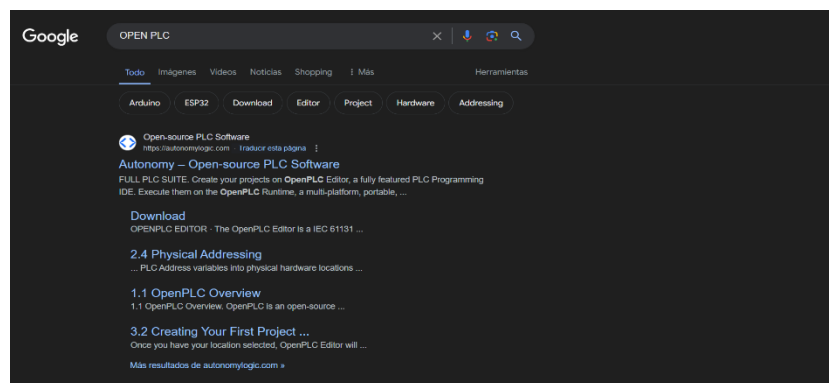


Imagen 46. Búsqueda en Google del programa OPEN PLC. Fuente: Propia

Al concluir la descarga, se debe ejecutar el instalador, seguir los pasos al igual que cualquier otro programa y en unos minutos estará listo para ser usado.

Una vez instalado, abriremos el programa para iniciar con la elaboración de diagramas tipo escalera, para ello, debemos seleccionar o crear una carpeta para que se guarden los archivos que se generaran para el correcto funcionamiento.

Después de este paso se abrirá una ventana donde se podrá elegir el lenguaje en que se desea programar el PLC

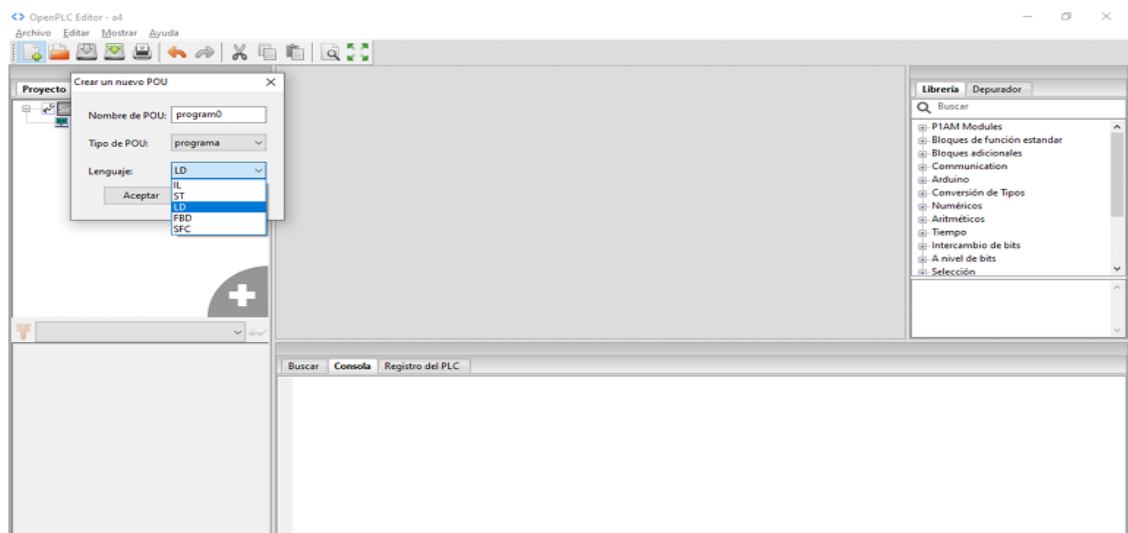


Imagen 47. Elección de lenguaje de programación, interfaz de OPEN PLC. Fuente: Propia

Es esencial familiarizarse con el entorno y las herramientas con las que cuenta OpenPLC. En el primer segmento se pueden encontrar los siguientes iconos y cada uno realiza una acción.

Encontramos el icono de “Nuevo” y su función consiste en crear un nuevo archivo.

Se encuentra el icono “Abrir” su función es abrir un archivo ya existente en el que se puede continuar trabajando y editando.

El siguiente es “Guardar” y “Guardar Como” ambos cumplen la función de guardar el archivo en el que se está trabajando, la diferencia entre ambos es que uno ofrece la posibilidad de asignar un nombre en específico, mientras que el otro asigna un nombre genérico.

Al final encontramos el icono de “Imprimir” el cual como su nombre lo indica su función es la de imprimir.

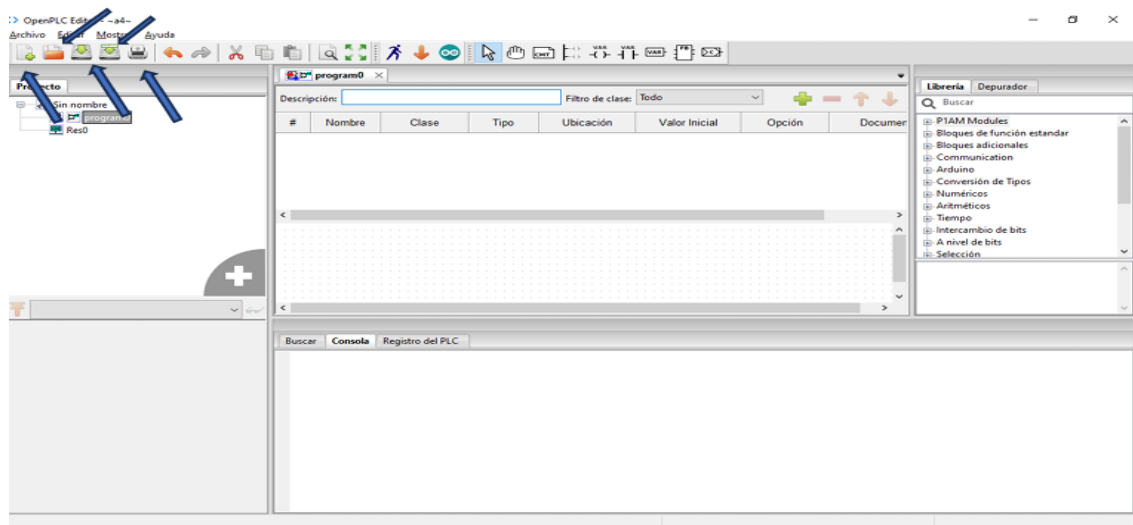


Imagen 48. Iconos para interactuar con los archivos. Fuente: Propio

En los siguientes segmentos encontraremos los iconos referentes a la edición del archivo, los cuales son bastante familiares ya que también son usados en los editores de texto. Continuando con la siguiente sección encontramos los siguientes iconos o herramientas.

La primera herramienta es para iniciar una simulación en PLC al igual que otros programas dedicados a este ámbito, su ventaja radica en que no crea otro código para una comunicación externa.

Después, encontramos la herramienta encargada de generar un programa por OpenPLC para hacer un “RunTime”.

La herramienta final es la más importante ya que es la que ayuda a compilar, generar y subir los archivos necesarios para utilizar la placa de nuestra preferencia como un PLC

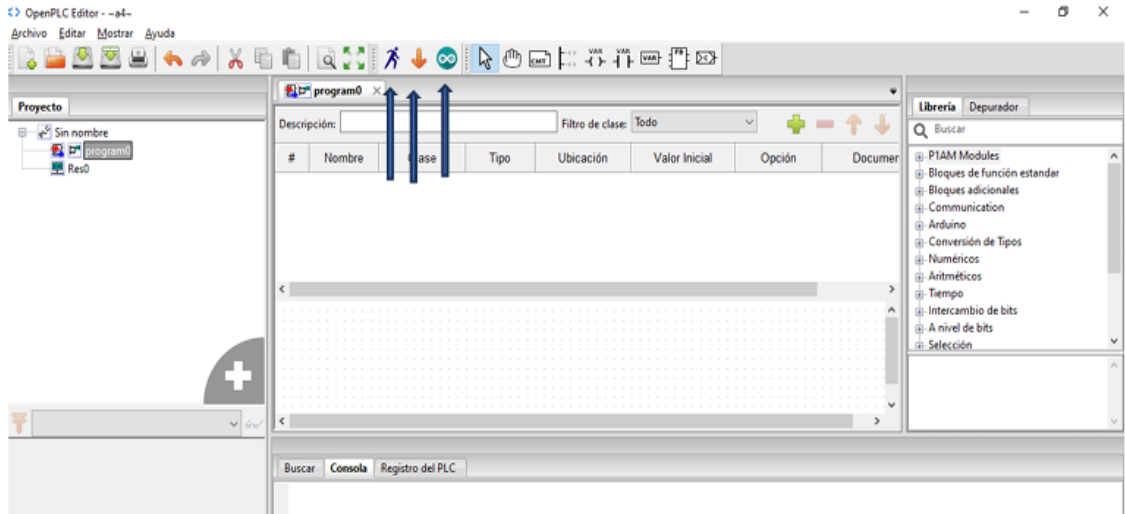


Imagen 49. Iconos para editar el archivo. Fuente: Propia

Debido a que se usará una placa Arduino como PLC, desde el inicio se selecciona esta opción como placa. En el siguiente menú, el cual se despliega después de seleccionar la herramienta para subir los archivos, se pueden realizar las siguientes acciones.

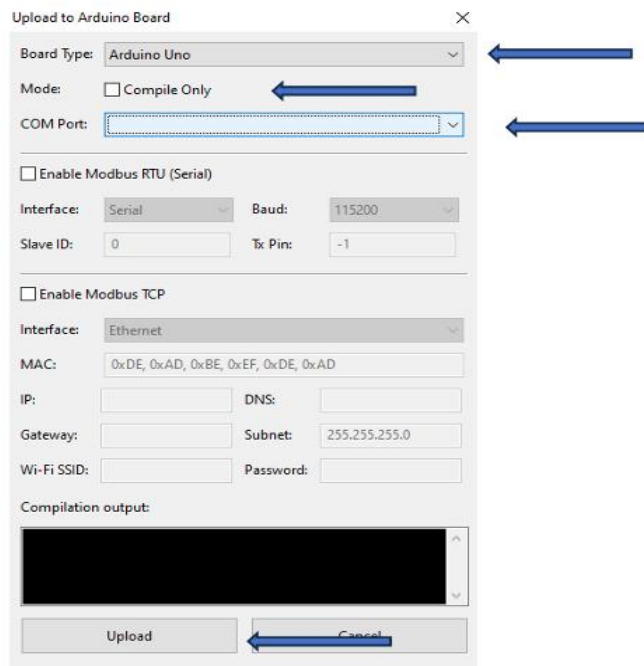


Imagen 50. Menú para carga de archivos. Fuente: Propia

En el primer apartado se debe seleccionar el tipo de tarjeta a la que deseamos subir el programa realizado, en este caso Arduino Uno.

La segunda opción nos permite solo compilar, esto solo se utiliza para corroborar el programa hecho.

En la tercera opción se selecciona el puerto en el que está conectada nuestra tarjeta Arduino, esto se debe hacer con cuidado puesto que de seleccionar el puerto erróneo nos arrojará un error y no se subirá el programa.

La última parte se selecciona después de haber configurado todas las opciones anteriores, ya que esta se encarga de subir el programa a la tarjeta Arduino. Es importante tomar en cuenta que cuando se utiliza por primera vez el programa, al subir el programa a la placa Arduino, esta demorara algunos minutos ya que también se descargan archivos complementarios para un correcto funcionamiento.

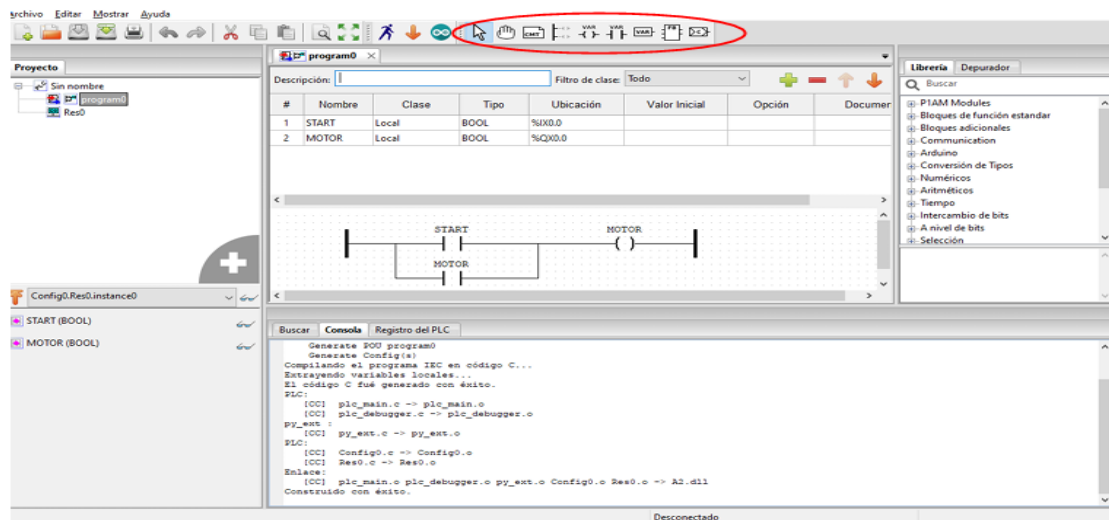


Imagen 51. Herramientas para estructurar el programa. Fuente: Propia

Finalmente encontramos el segmento encargado de las herramientas usadas para la creación de programas, en este caso de tipo escalera para PLC's. cada programador tiene la libertad de utilizar estas herramientas de la manera que más le convenga.

Con estas herramientas, módulos, dispositivos, software y hardware, se realizó un diagrama del diseño, considerando las tres etapas, se observa, donde se detona el inicio con los botones, que inician el proceso conectándose a la placa Arduino (ARD1), el mismo manda el enlace y programación, que activa la salida

de la gestión visual, es decir activa la luz, así mismo, se observa la conexión del Arduino, con el módulo HC-06, que genera la vía bluetooth de la señal visual.

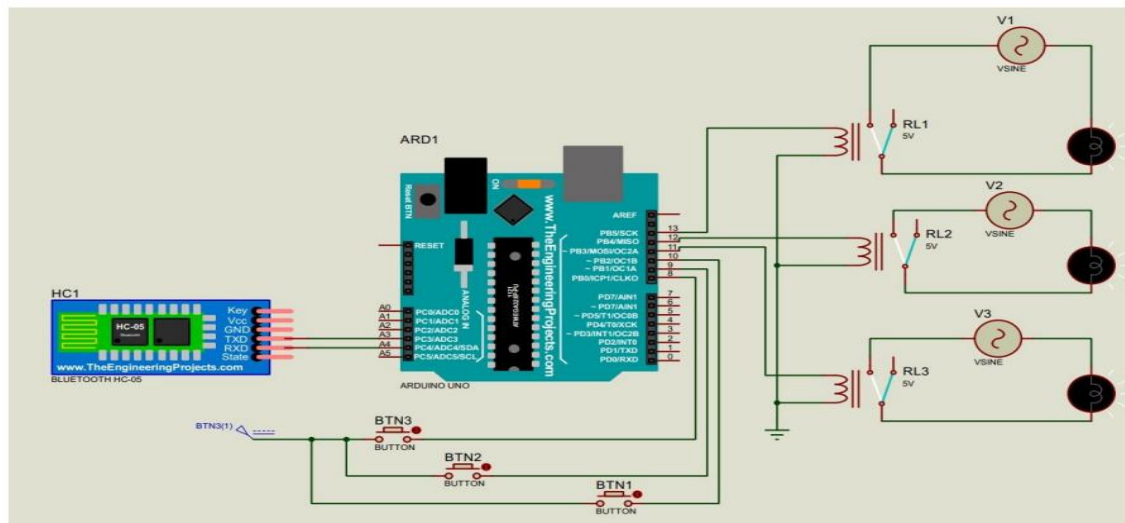


Imagen 52. Diagrama de conexiones y salidas de la placa ARDUINO UNO a demás componentes. Fuente: Propia

5.3 Programación del código

Para el correcto funcionamiento del dispositivo propuesto, el programa OpenPLC genera varios códigos en la carpeta que previamente se crea. Estos códigos se componen de los siguiente.

Sistema Beremiz: Siendo parte del editor, Beremiz es un sistema abierto para la automatización industrial, implementa un entorno de desarrollo integrado (IDE) para la creación, modificación e implementación de programas permitiendo el desarrollo de aplicaciones para la automatización de procesos. Combina sus estándares con PLCOpen, CanOpen, permite crear aplicaciones portátiles. Con OpenPLC, es capaz de importar y exportar sus fuentes en XML mediante el estándar TC6_XML.

Esta aplicación dispone de una interfaz gráfica HMI, donde desarrollar nuestro sistema SCADA.

Posterior a la realización del esquema en escalera o en cualquier otro tipo de programación para PLCs se ejecuta y se sube el programa, acción que genera los siguientes códigos en la carpeta.

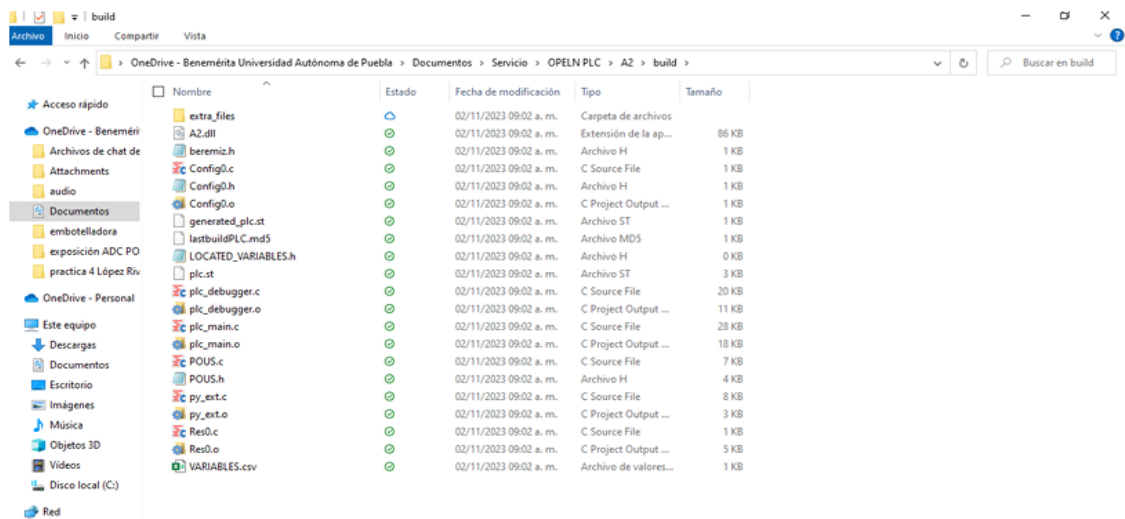


Imagen 53. Carpeta con archivos para cargar a la placa ARDUINO UNO. Fuente: Propia
 Como se mencionó al principio el archivo Beremiz es el primero en generarse y el contenido del código es el siguiente.

```

beremiz.h: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
#ifndef _BEREMIZ_H_
#define _BEREMIZ_H_

/* Beremiz' header file for use by extensions */

#include "iec_types.h"

#define LOG_LEVELS 4
#define LOG_CRITICAL 0
#define LOG_WARNING 1
#define LOG_INFO 2
#define LOG_DEBUG 3

extern unsigned long long common_ticktime__;

#ifdef TARGET_LOGGING_DISABLE
static inline int LogMessage(uint8_t level, char* buf, uint32_t size)
{
    (void)level;
    (void)buf;
    (void)size;
    return 0;
}
#else
int LogMessage(uint8_t level, char* buf, uint32_t size);
#endif

long AtomicCompareExchange(long* atomicvar, long compared, long exchange);
void *create_RT_to_nRT_signal(char* name);
void delete_RT_to_nRT_signal(void* handle);
int wait_RT_to_nRT_signal(void* handle);
int unblock_RT_to_nRT_signal(void* handle);
void nRT_reschedule(void);

#endif

```

Imagen 54. Código Beremiz. Fuente: Propia

Código Main: El código Main es el que contiene la programación para hacer que funcione nuestra placa y el cual es subido y compilado. Se puede observar como manda a llamar al código Beremiz y string con el propósito de utilizar sus variables y funcionar en cualquier tipo de placa propuesta por el programa.

```

plc_main.c: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
/**
 * Head of code common to all C targets
 */

#include "beremiz.h"
#include <string.h>
/*
 * Prototypes of functions provided by generated C softPLC
 */
void config_run__(unsigned long tick);
void config_init__(void);

/*
 * Prototypes of functions provided by generated target C code
 */
long long AtomicCompareExchange64(long long*, long long, long long);
void __init_debug(void);
void __cleanup_debug(void);
/*void __retrieve_debug(void);*/
void __publish_debug(void);

/*
 * Variables used by generated C softPLC and plugins
 */
IEC_TIME __CURRENT_TIME;
IEC_BOOL __DEBUG = 0;
unsigned long __tick = 0;
char *PLC_ID = NULL;

/*
 * Variable generated by C softPLC and plugins
 */
extern unsigned long greatest_tick_count__;

/* Help to quit cleanly when init fail at a certain level */
static int init_level = 0;

/*
<

```

Imagen 55. Código Main. Fuente: Propia

La programación del código que hará que el semáforo encienda las luces de acuerdo con el problema que se presente es el siguiente. Previamente se realizó un análisis de diagrama de flujo donde se propone la secuencia en la que se pretende hacer el programa.

Código Arduino:

```

int led1 = 2;

int led2 = 3;

int led3 = 4;

int estado = 0;

int bot1 = 5;

int bot2 = 6;

int bot3 = 7;

void setup()

{

}

Serial.begin(9600);

```

```

pinMode(led1, OUTPUT);
pinMode(led2, OUTPUT);
pinMode(led3, OUTPUT);
pinMode(bot1, OUTPUT);
pinMode(bot2, OUTPUT);
pinMode(bot3, OUTPUT);
void loop()
{
if( Serial.available(>0)
{
}
estado = Serial.read();
switch( estado)
{
case 'a':
digitalWrite(led1, !digitalRead (led1));
break;
case 'b':
digitalWrite(led2, !digitalRead (led2));
break;
case 'c':
digitalWrite(led3, !digitalRead (led3));
}
bool F = digitalRead(bot1);
if (F==1) {
digitalWrite(led1, !digitalRead (led1));
}
bool G = digitalRead(bot2);

```

```

if (G==1) {
digitalWrite(led2, !digitalRead (led2));
}
bool H = digitalRead(bot3);
if (H==1) {
digitalWrite(led3, !digitalRead (led3));
}

```

4.3.1 Diagrama de flujo

En el diagrama de flujo, nos enfocamos en que sucede cuando se pulsa un botón.

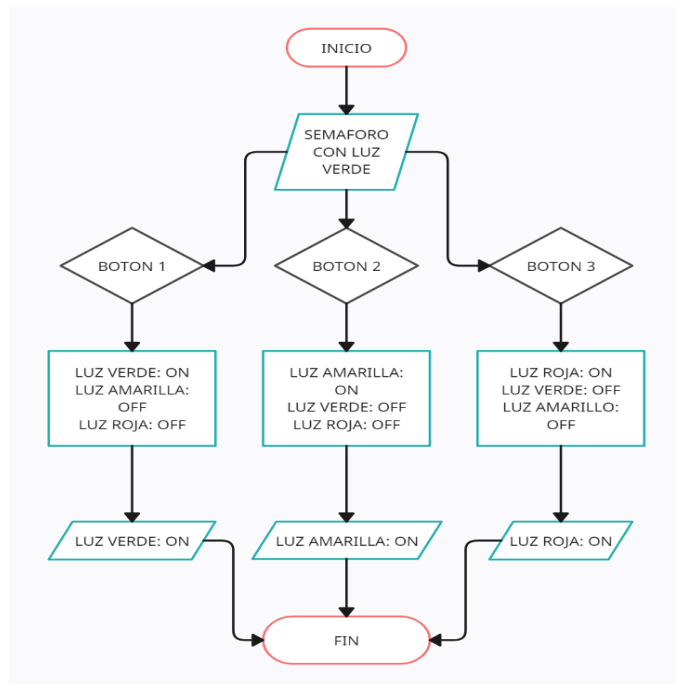


Imagen 56. Diagrama de Flujo para desarrollar el funcionamiento del programa. Fuente: Propia

Para entender de mejor manera el diagrama de flujo se sugiere tener la siguiente interpretación.

La situación inicial del semáforo nos indica que la luz verde esta encendida.

Al momento de pulsar el botón 2, se debe encender la luz amarilla y por consecuencia la luz verde debe apagarse y la luz roja continuar en su estado, apagado. Aunque también, se puede presentar la situación en la que la luz roja

sea la que esta encendida, entonces el funcionamiento será el mismo, encender la luz amarilla, apagar la luz roja y mantener la luz verde apagada.

Con el botón 3 suceder algo similar, la luz roja se debe encender, la luz amarilla pasara a apagado y la luz verde continuado en su estado, apagado. Sin embargo, puede suceder que previamente esté encendida la luz verde, lo cual hará que su funcionamiento sea el mismo, encender la luz roja, apagar la luz verde y mantener apagada la luz amarilla.

Al pulsar el botón 1, la luz verde se debe encender y la luz roja o amarilla, deberán apagarse.

5.4 Presentación del dispositivo

Una vez reunida la información de componentes, módulos y creado el programa, se realiza el armado del primer modelo denominado Modelo A, esta versión de semáforo se ensambla en un tablero con el propósito de garantizar el funcionamiento de los componentes ARDUINO UNO empleados.

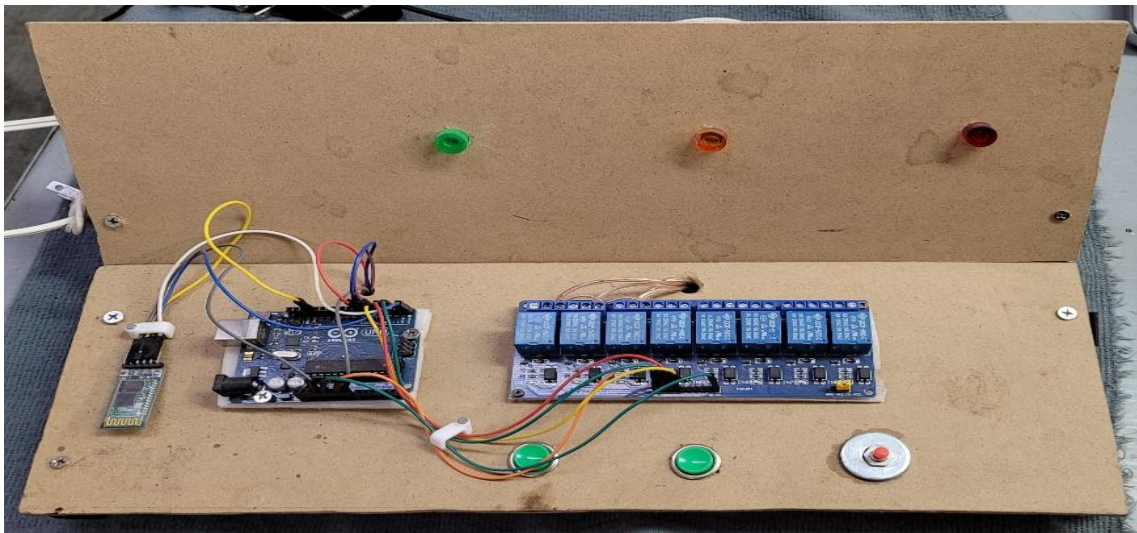


Imagen 57. Modelo A de semáforo para la construcción. Fuente: Propia

Posteriormente se analizó, calculo y diseño una carcasa o cubierta que protegiera los componentes de las condiciones hostiles o desfavorables que pueden presentarse en una obra de construcción. Para ello se empleó el programa

educativo TinkerCAD que permite modelar y posteriormente mandar a imprimir en laser 3D.

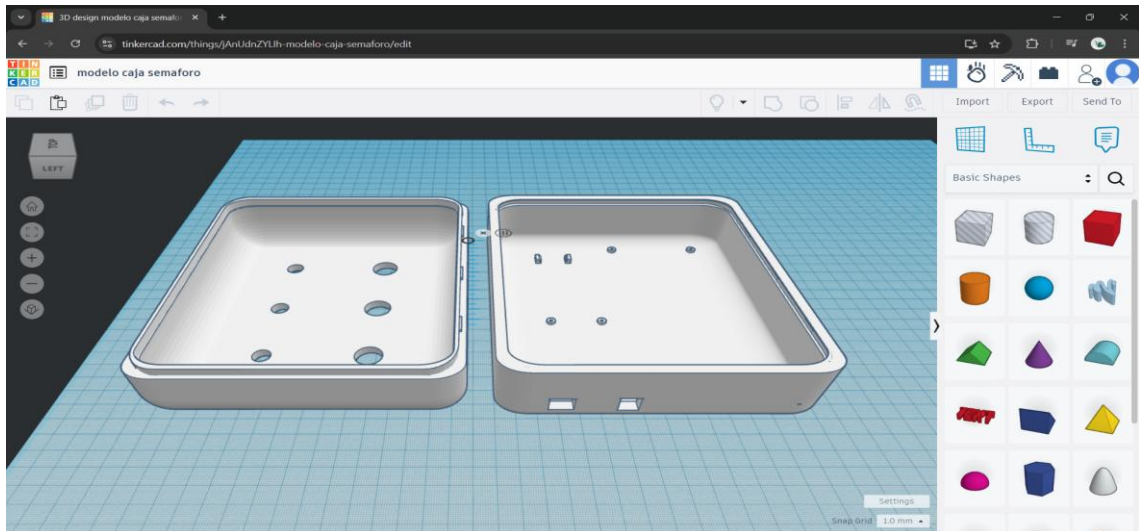


Imagen 58. Modelado de la cubierta en el programa TinkerCAD. Fuente: Propia

Para esta cubierta se tomó en cuenta hacer las ranuras de las terminales de la placa ARDUINO UNO donde se conecta a la computadora para cargar el programa y su conexión a la corriente eléctrica, también se tomaron en cuenta las ranuras para tornillos que trae por defecto. De manera similar, se colocaron las ranuras para el Módulo AR-4RELEY. Para el módulo bluetooth se diseñó una pestaña que sujeta el módulo ejerciendo presión, ya que este no cuenta con ranuras de tornillos. Al colocar estas ranuras y pestañas en la cubierta, se adaptó el espacio disponible logrando un ensamble más sólido y de menor complejidad. La tapa de la cubierta también se diseñó con los orificios donde se colocarían los botones y las luces del semáforo.

También se adaptaron unas pestañas que embonan en la tapa para tener un cierre resistente evitando el uso de tornillos.

Para garantizar su resistencia se empleó filamento PETG el cual es un material termoplástico con gran resistencia y alta durabilidad, es resistente a la intemperie, a los rayos UV y resiste el agua.



Imagen 59. Modelo B de semáforo para la construcción. Fuente: Propia

El modelo B de semáforo para la construcción en funcionamiento con todos los componentes.

5.5 Funcionamiento del dispositivo

El funcionamiento del dispositivo se basa en el siguiente diagrama de flujo.

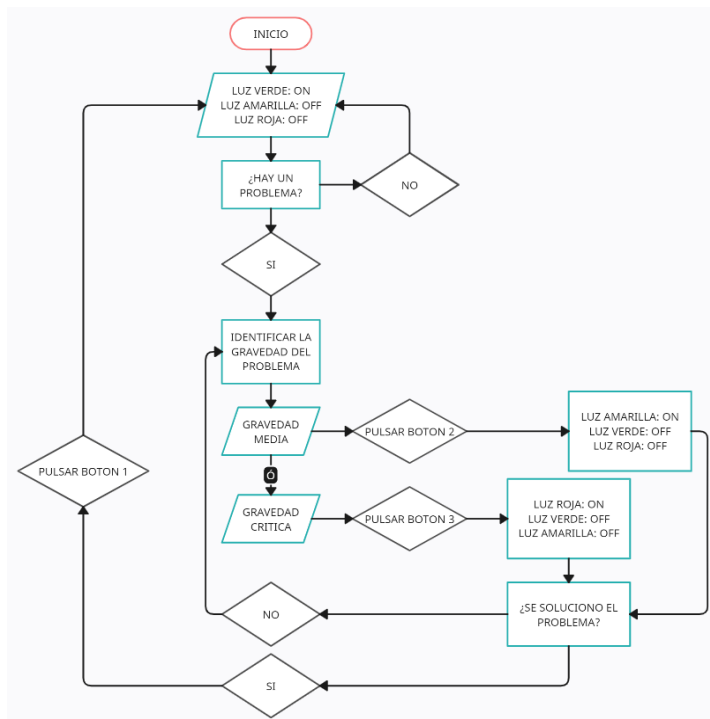


Imagen 60. Diagrama de flujo sobre el funcionamiento del semáforo para la construcción. Fuente: Propia

Donde en una situación inicial, el estado de la obra o proyecto es de condiciones normales sin incidentes o problemas y el semáforo se encontrará con la luz verde encendida.

Posteriormente ante la inminencia de un problema, el personal a cargo de la obra deberá realizarse la pregunta “¿Hay un problema?”, si la respuesta es “no” la obra continuará en condiciones normales, de ser “si” se deberá identificar la gravedad del problema de acuerdo con las tablas 1 y 2 del capítulo anterior.

Si el problema es de gravedad media se debe pulsar el botón de la luz amarilla para encenderla y el encargado del proyecto resuelva el problema como lo marca el diagrama de flujo, una vez que se atendió el problema se debe hacer la pregunta “¿Se soluciono el problema?”, si el problema no fue solucionado, nuevamente se repetirá el ciclo. Si el problema fue solucionado se debe pulsar el botón verde para regresar a la situación inicial del problema.

Cuando sucede un problema de gravedad critica, el funcionamiento es el mismo. Por otro lado, se pueden encender o apagar las luces del semáforo desde un dispositivo móvil por vía bluetooth como se mencionó anteriormente, al dispositivo se le integró un módulo con dicha función.

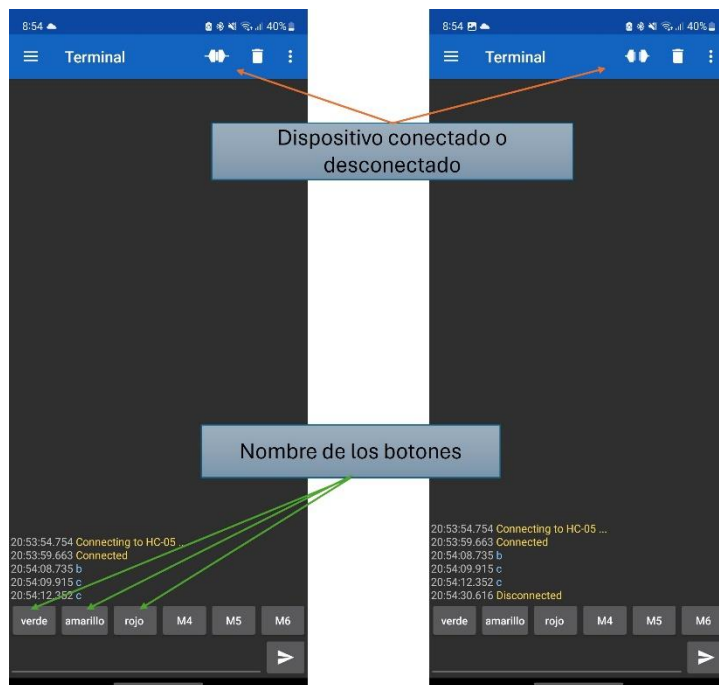


Imagen 61. Conexión dispositivo-celular vía Bluetooth. Fuente: Propia

Con este funcionamiento se establece que hay una herramienta funcional de control visual que apoya a la rápida solución de los problemas e incidentes que llegan a presentarse en una obra de construcción.

5.6 Mejoras futuras del dispositivo

Parte del sistema Lean promueve la mejora de los procesos con el fin de tener una mejor eficiencia y productividad, por ello, se proponen algunas mejoras para este dispositivo:

1. Altavoz para señal auditiva.

Además de tener una señal visual con las luces, es bueno implementar un altavoz que emita un sonido para que también de alerta del estado en el que se encuentra la obra. Para ello se debe buscar un sonido que se adapte al entorno de la construcción y al igual de los componentes sea de uso libre o de autoría propia. Por otro lado, sería bueno que el sonido sea característico y distintivo de cada estado del semáforo.

2. Actualización de sistema de comunicación de Bluetooth a WIFI.

La comunicación que actualmente ofrece el dispositivo funciona correctamente, aunque tiene sus limitaciones. Una de ella es referente al rango de comunicación bluetooth donde su alcance máximo es de 5 a 10 metros, si se integra un módulo de WIFI compatible con Arduino como lo es el ESp-8266 01 WIFI se llegaría fácilmente a los 45 o 50 metros. Lo cual lo hace más óptimo en una obra en construcción, donde generalmente el trabajador se encuentra a una distancia considerable del dispositivo.

3. Integración de batería.

Este dispositivo se diseñó para estar en una obra de construcción donde constantemente se hacen cambios en los espacios de trabajo, por esta razón, integrar una batería de respaldo o powerbank resultaría una mejora significativa ya que empezaría a depender menos de estar conectado al suministro eléctrico y hace que el dispositivo sea vuelva portable.

4. Creación de aplicación para dispositivo móvil.

Al ya tener comunicación con un dispositivo móvil, la idea de crear una aplicación se vuelve algo más esencial, ya que proporcionaría mejor manejo del dispositivo o dispositivos permitiendo controlar múltiples obras al mismo tiempo.

5. Pantalla interactiva.

Implementar una pantalla permitiría introducir información adicional sobre la situación de los problemas que se presenten.

5.7 Aplicación teórica - práctica.

Al implementar el dispositivo tipo semáforo en múltiples ejemplos teóricos-prácticos, se propusieron los siguientes escenarios (Anexo 1, 2, 3) en los que se proyectaron diferentes incidentes los cuales se fueron recopilando de acuerdo con la Tabla 4 “Relación entre desperdicio e incidentes” del capítulo anterior.

Se planteo el supuesto de una obra en la que se tuvo la mejor y más completa recopilación de datos, arrojando los siguientes resultados. En este ejemplo el periodo de tiempo en el que se realizó la obra de construcción duro 3 meses y medio, periodo en el que el semáforo estuvo activo y el encargado de la obra reunió la cantidad de incidentes que fueron ocurriendo día a día para posteriormente procesar los datos.

Los resultados obtenidos dieron la oportunidad de graficar la cantidad de incidentes que sucedieron en una semana y el acumulado de incidentes que sucedieron a lo largo del proyecto.

							27	
DESPERDICIO	TIPO DE INCIDENTE	L	M	M	J	V	S	Total
SOBREPRODUCCION	Interferencia entre contratistas							1
	Producción / Adquisición de elementos prefabricados							
	Retraso en la toma de muestras para laboratorios / muestras excesivas				1			
SOBREPROCESAMIENTO	Bajo rendimiento de los trabajadores						1	2
	Cambios de diseño arquitectónico	1						
	Reelaboración de elementos estructurales							
TRANSPORTE	Ausencia de los trabajadores en el sitio de trabajo							2
	Difícil accesibilidad al sitio de trabajo		1		1			
	Maquinaria incorrecta							
TIEMPO DE ESPERA	Acumulación de residuos / Tiro autorizado							1
	Condiciones meteorológicas desfavorables							
	Daño o averías en la maquinaria				1			
INVENTARIO	Falta de Equipo de protección personal			1				2
	Falta de insumos y materiales		1					
	Interrupción en la cadena de suministros							
MOVIMIENTOS	Condiciones inseguras para el trabajo							1
	Organización deficiente en la estación de trabajo							
	Reubicación de materiales por ubicación incorrecta			1				
TALENTO DESAPROVECHADO	Accidentes que afectan a los trabajadores							2
	Comunicación deficiente entre participantes			1				
	Falta de personal capacitado en la operación de maquinaria						1	
DEFECTOS	Materiales de mala calidad o calidad deficiente							1
	Planos desactualizados	1						
	Proceso constructivo erróneo o mal ejecutado							
HACER POR HACER	Fabricación excesiva de concretos o morteros							1
	Orden inadecuado en el trabajo							
	Prerrequisitos no concluidos		1					
TOTAL DE INCIDENTES		2	3	3	3	0	2	13

Tabla 6. Cantidad de incidentes por semana. Fuente: Propia

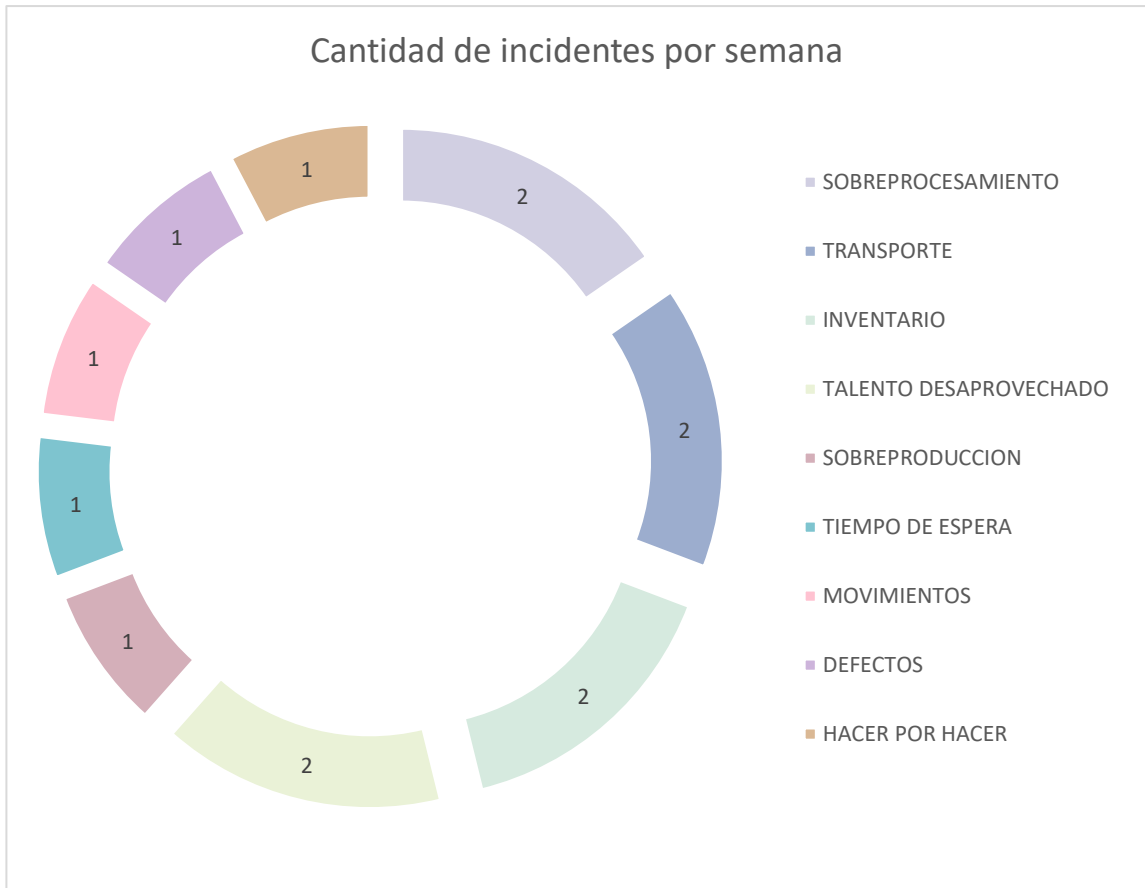


Gráfico 5. Cantidad de incidentes por semana. Fuente: Propia

En esta grafica observamos en qué tipo de desperdicio se concentraron la mayoría de los incidentes, durante la primera semana de actividades en la obra de construcción.

Después de la primera semana de actividades se encontraron múltiples áreas de oportunidad en las cuales era posible tener un proceso de mejora continua. Tras un análisis a los tipos de incidentes que ocurrían se planteó una solución en forma con los grupos de trabajo que participan en la obra para que el incidente no ocurriera en la semana siguiente.

Semana	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
Imprevistos	13	11	9	9	10	8	10	9	8	8	7	7	7	9	6	4

Tabla 7. Cantidad de incidentes acumulados a lo largo de las semanas. Fuente: Propia

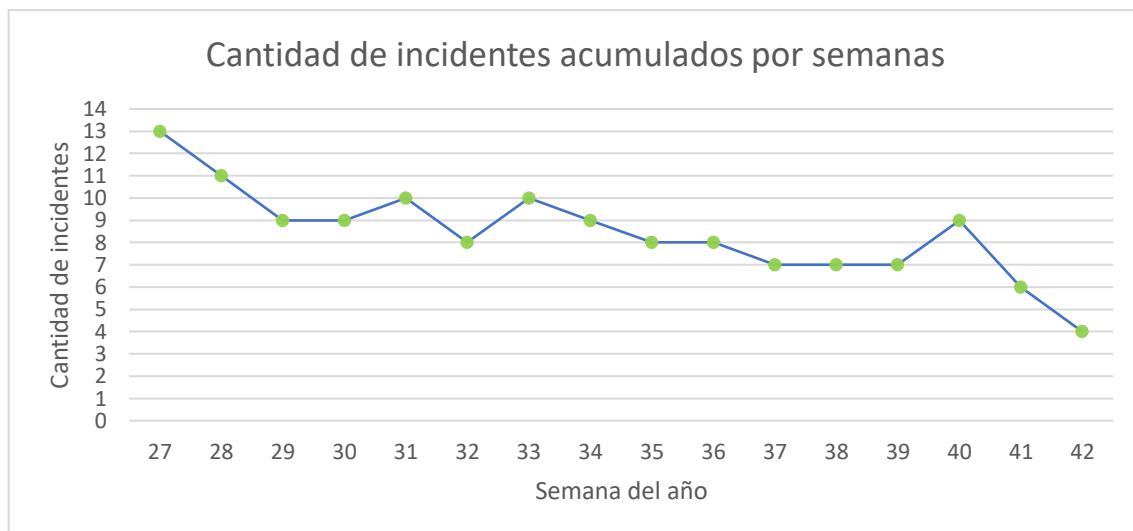


Gráfico 6. Incidentes a lo largo de las semanas. Fuente: Propia

En la gráfica 6 podemos observar una métrica de rendimiento a lo largo del proyecto constructivo que permitió estandarizar el proceso e implementar una mejora continua, brindando acceso a que el número de incidentes fueran reduciéndose paulatinamente. Conforme se implementaron mejores prácticas y estrategias durante el desarrollo del proyecto se logró optimizar los resultados minimizando desperdicios.

De manera similar estandarizando con una métrica, se generó una tabla que lleva el conteo del tipo de incidente ocurrido durante la duración de la obra de construcción, además, los agrupa por tipo de desperdicio al que pertenecen.

TIPO DE DESPERDICIO	TIPO DE IMPREVISO	TOTAL
SOBREPRODUCCION	Interferencia entre contratistas	5
	Producción / Adquisición de elementos prefabricados	7
	Retraso en la toma de muestras para laboratorios / muestras excesivas	3
SOBREPROCESAMIENTO	Bajo rendimiento de los trabajadores	6
	Cambios de diseño arquitectónico	4
	Reelaboración de elementos estructurales	4
TRANSPORTE	Ausencia de los trabajadores en el sitio de trabajo	7
	Difícil accesibilidad al sitio de trabajo	6
	Maquinaria incorrecta	5
TIEMPO DE ESPERA	Acumulación de residuos / Tiro autorizado	7
	Condiciones meteorológicas desfavorables	5
	Daño o averías en la maquinaria	5
INVENTARIO	Falta de Equipo de protección personal	2

	Falta de insumos y materiales	11
	Interrupción en la cadena de suministros	6
MOVIMIENTOS	Condiciones inseguras para el trabajo	4
	Organización deficiente en la estación de trabajo	5
	Reubicación de materiales por ubicación incorrecta	5
TALENTO DESAPROVECHADO	Accidentes que afectan a los trabajadores	1
	Comunicación deficiente entre participantes	8
	Falta de personal capacitado en la operación de maquinaria	2
DEFECTOS	Materiales de mala calidad o calidad deficiente	3
	Planos desactualizados	5
	Proceso constructivo erróneo o mal ejecutado	5
HACER POR HACER	Fabricación excesiva de concretos o morteros	5
	Orden inadecuado en el trabajo	6
	Prerrequisitos no concluidos	3
TOTAL		135

Tabla 8. Conteo de incidentes por tipo de imprevistos en la etapa de construcción.
Fuente: Propia

En la siguiente tabla se presenta el conteo de incidentes que se presentaron en cada categoría de desperdicio o muda como métrica o KPI para estandarizar la industria de la construcción como parte de una innovación.

TIPO DE DESPERDICIO	TOTAL
SOBREPRODUCCION	15
SOBREPROCESAMIENTO	14
TRANSPORTE	18
TIEMPO DE ESPERA	17
INVENTARIO	19
MOVIMIENTOS	14
TALENTO DESAPROVECHADO	11
DEFECTOS	13
HACER POR HACER	14
TOTAL DE IMPREVISTOS	135

Tabla 9. Conteo de incidentes por tipo de desperdicio en la etapa de construcción.
Fuente: Propia

La siguiente métrica representada en gráfica nos muestra cual es el tipo de desperdicio que más impacto y cuál es el que menos impacto tuvo durante el proyecto



Gráfico 7. Total de incidentes durante la etapa de construcción en porcentaje. Fuente: Propia

En esta grafica observamos que durante la etapa de construcción el incidente que más sucede pertenece al desperdicio por inventario, por otro lado, el incidente que menos ocurre pertenece al desperdicio por talento desaprovechado.

Teniendo en cuenta esto se puede decir que en este ejemplo teórico practico los incidentes de mayor impacto pertenecen al desperdicio por inventario con 14.07%, seguido del desperdicio por transporte con 13.33% y desperdicio por tiempo de espera con 12.59%, caso contrario el de menor impacto, alude al desperdicio por talento desaprovechado con 8.15%.

Capítulo 6. Conclusiones

El dispositivo de gestión visual tipo semáforo tiene como principal objetivo generar una métrica y estandarización, para control y reducción de cualquier tipo de incidente que pueda presentarse durante la ejecución de un proyecto constructivo de vivienda sustentado en un dispositivo de gestión visual tipo ANDON.

Las principales métricas o resultados que se lograron generar se presentan en forma de gráfica porcentual, estas permiten observar cuales son los imprevistos que más ocurren, incentivando el trabajo para su disminución y eliminación, además se logró obtener estos resultados o métricas de manera semanal o mensual para un mejor análisis, las primeras permiten llevar un control de la obra en curso, mientras que las segundas proveen de previsión sobre las áreas de oportunidad durante el proyecto.

De acuerdo a la hipótesis, la cual plantea la posibilidad de implementar un dispositivo de gestión visual que puede prevenir imprevistos de obra y ayuda a estandarizar y sistematizar la construcción de vivienda en Puebla, en esta investigación se explora, analiza y se concluye que es posible implementar un dispositivo de gestión visual tipo semáforo para prevenir incidentes de obra ya que el dispositivo funciona de manera favorable para los usuarios, como consecuencia hay mejor comunicación del estado de la obra y los incidentes se resuelven de forma eficaz al usar estrategias de Lean Construction, por ejemplo, 5s usado para organizar y optimizar el lugar de trabajo, los 5 ¿por qué? empleado para encontrar la causa-raíz de los problemas y el Kaizen para la mejora continua, además, también ayuda a estandarizar y sistematizar la construcción de vivienda debido a que el dispositivo tipo semáforo motiva a los constructores a estandarizar, organizar sus procesos, implementar programas de mejora continua con sus equipos de trabajo y emplear elementos prefabricados o escantillones, por estas razones se reducen los incidente, se optimizan los recursos, hay mayor productividad y se reducen los desperdicios entre procesos y lo más importante, se adquiere conocimiento para los futuros proyectos.

En este entorno, estandarizar y sistematizar los procesos constructivos, permiten que un proyecto constructivo de vivienda reduzca sus incidentes, con la incorporación del dispositivo de gestión visual tipo semáforo se puede lograr una mayor productividad, puesto que cuando se presentan incidentes, el propio semáforo alerta el nivel gravedad del mismo y transmite la información para que el personal a cargo detecte la causa raíz del incidente y al mismo tiempo lo comunique con personal asignado que pueda proporcionar una solución antes que el incidente escale de magnitud.

De igual manera, los ejemplos planteados en este trabajo de investigación nos permiten tener un control visual sobre la cantidad de imprevistos que van surgiendo a lo largo del proyecto.

Por otra parte, la innovación y aporte a la industria de la construcción que se realiza en este trabajo de investigación radica en que se creó un dispositivo de gestión visual que permite controlar y reducir los imprevistos, además de generar una métrica de control y KPI que permiten implementar la mejora continua durante el proyecto constructivo de vivienda, dicho dispositivo no ha sido empleado en México.

Es indispensable mencionar que al desarrollar este proyecto se encontró que muy pocos constructores están dispuestos a poner a prueba nuevas tecnologías, especialmente si no son conocidas o no muestran un resultado que sea visible inmediatamente.

Dentro de las características destacables del dispositivo encontramos su diseño compacto y de fácil armado especialmente adaptado para el entorno desfavorable que se encuentra en la construcción de un proyecto de vivienda, lo anterior garantiza el funcionamiento de los diferentes componentes de tipo Arduino, los cuales son especialmente seleccionados para este tipo de proyectos debido a su alta adaptabilidad y fácil programación dentro del entorno del programa OpenPLC.

De tal manera que permite la interacción eficiente entre personal y dispositivo, ya sea accionando los botones instalados en el dispositivo o recibiendo una señal

vía bluetooth desde un dispositivo móvil dentro de un radio de acción de 15 a 25 metros dependiendo las condiciones de la obra.

Para usar adecuadamente el dispositivo, el personal que participa en la ejecución del proyecto debe tener conocimiento sobre la magnitud de gravedad que tiene los diversos incidentes que se pueden presentar, en este trabajo de investigación se exploran los incidentes más comunes y además se propone una escala o métrica sobre la gravedad de estos.

La implementación de esta métrica depende del criterio de cada ingeniero, priorizando la integridad y seguridad del personal, además de las características del proyecto constructivo de vivienda, como lo es el financiamiento y el plan maestro, recordando que no todos los proyectos presentan los mismos propósitos, desafíos y limitaciones.

Este proyecto abre la posibilidad de desarrollar un sistema en el que por medio de inteligencia artificial detecte cual es el incidente que esta por ocurrir, analizando el historial de incidentes que ya ocurrieron.

Referencias.

- Adepoju, O. (2022). *Building Information Modelling*. (pp. 43–64).
https://doi.org/10.1007/978-3-030-85973-2_3
- Alarcón, L. (1997). *Lean Construction*. (L. Alarcón, Ed.).
- Alarcon, L. F., Luis Salvatierra Garrido Lean Salvatierra, J., Tomas Rodriguez, I. Z., & Lagos, C. (2017). *Lean Construction: Manual Práctico de Herramientas de Mejoramiento de Construcción*.
<https://www.researchgate.net/publication/318217002>
- Alves, T. (2021). *Welcome to OPEN PLC*. [Broadcast]. OPEN PLC.
https://www.youtube.com/watch?v=cNg-tXZynJE&ab_channel=OpenPLC
- Apolaya J, J., Díaz H, E., & Marmanillo P, V. (2020). *Materiales convencionales y no convencionales*.
- Astudillo, J., & Maldonado, C. (2022). *Diseño de un sistema Andón en la línea de producción de ladrillos refractarios en la empresa Samothermal*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Astudillo Yépez, K., Calva Jiménez, M., & Aguirre Benalcázar, M. (2022). Semáforo emergente del mercado. Caso: Asociación de Producción Textil Anda y Vuelve “Asprotexav”. *REVISTA ERUDITUS*, 3(2), 85–102.
<https://doi.org/10.35290/re.v3n2.2022.484>
- Ávila, M., & Córdoba, A. (2018). *Dirección de proyectos Lean*. 38.
- Baculima, A., & Burbano, J. (2023). *Implementación del sistema de producción Toyota en el área de cárnicos, caso de estudio: italimentos cia.ltda*. Universidad del Azuay.
- Bartels, N., Höper, J., Theißen, S., & Wimmer, R. (2023). *Building Information Modeling* (pp. 21–29). https://doi.org/10.1007/978-3-031-12759-5_3
- Bosch, A. (2022). *Diseño de un nuevo concepto de semáforos*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona.

- Brady, D. A. (2014). *Using visual management to improve transparency in planning and control in construction*. https://salford-repository.worktribe.com/preview/1496684/PhD_thesis_brady_251114.pdf
- Cagna V, C. (2022). *Asociación de Profesionales Senior Estandarización: 3 M Parte I Muda, Mura y Muri*. <https://avpsonline.com/blog/lean-management/>
- Calderón, M. (2020). *Implementación de Lean Construcción en Cusco-Peru*. Escuela Técnica Superior.
- Campos, M., Martínez, F., & Puglia, N. (2010). *Control de gestión en TPS (Toyota Production System)*.
- Carrasco, S. (2017, April). *Sistematización de procesos para escalar la empresa*. <https://elnuevoempreneur.com/sistematizacion-procesos-escalar-la-empresa/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20sistematizaci%C3%B3n%20de,para%20cualquiera%20que%20desea%20hacerlo>.
- Collachagua, I. (2017). *Aplicación de la filosofía lean Construction en la construcción de departamentos multifamiliares la toscana como herramienta de mejora de la productividad*. Universidad Continental.
- Coloma, E. (2008). *Introducción a la Tecnología BIM*. Departamento de expresión gráfica arquitectónica.
- Constructor. (2021). *Los seis elementos de medición que no pueden faltar en una obra. La cuarta constructor*. La Cuarta Constructor. <https://constructor.lacuarta.com/noticias/vitrina-del-maestro/los-seis-elementos-de-medicion-que-no-pueden-faltar-en-una-obra.html>
- Domingo, R. T. (2022). *Identificación de los 7 desperdicios*. www.rtdonline.com
- Galsworth, G. D. (1997). *Visual Systems. Harnessing the Power of the Visual Workplace*.
- Gao, S., & Low, S. P. (2014). *Lean Construction Management*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-287-014-8>

- García, Á. D. (2023). *Estado actual de la gestión visual con la metodología LEAN CONSTRUCTION en vivienda en Puebla, México*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Haapasalo, H., & Aapaoja, A. (2014). *The Challenges of Standardization of Products and Processes in Construction*. <https://doi.org/10.13140/2.1.3993.7600>
- Höök, M., & Stehn, L. (2008). *Lean principles in industrialized housing production: The need for a cultural change*. www.leanconstructionjournal.org
- Ibáñez, F. (2018). *Análisis y definición de estrategias para la implementación de las herramientas de lean Construction en Chile*. Universidad de Chile.
- Ibarra, V., & Ballesteros, L. (2017). Manufactura esbelta. *Conciencia y Tecnología*, 6.
- Imai, M. (1998). *Cómo implementar Kaizen en el sitio de trabajo (GEMBA): Vol. SEGUNDA EDICION* (G. ROSAS, Ed.; MCGRAW HILL).
- INEGI. (2020a). *Censo 2020 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS. Estados Unidos Mexicanos*.
- INEGI. (2020b). *Censo de Población y Vivienda 2020 Resultados complementarios*.
- INEGI. (2020c). *Presentación de resultados Encuesta Nacional de Vivienda (ENVI) 2020*.
- Jones, D. T., & Womack, J. P. (2003). *Lean thinking como utilizar el pensamiento lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*. Grupo Planeta. Centro libros PAPP, S.L.U. Gestión 2000.
- Kamada, S. (2020). *Cómo opera un "Andon."*
- Kepes, G. (1969). *El Lenguaje de la visión*.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*.
- Lander, E., & Liker, J. K. (2007). The Toyota Production System and art: Making highly customized and creative products the Toyota way. *International Journal*

of Production Research, 45(16), 3681–3698.
<https://doi.org/10.1080/00207540701223519>

- Lazcano, F., Mejía, A., García, S., & Pellicer, E. (2023). Innovación de prototipo de gestión visual, para control de obras de construcción en México. In 2023. 2do congreso internacional de emprendimiento tecnológico, científico e innovación de la facultad de ingeniería.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill.
- Locher, D. (2017). *Lean office*.
- Maldonado, G. (2008). *Herramientas y técnicas lean manufacturing en sistemas de producción y calidad*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Marchwinski, C., Shook, J., & Schroeder, A. (2008). *Léxico Lean. Un glosario gráfico para Pensadores Lean*. Lean Enterprise Institute.
- Medina, L. (2021). *Lean Construction y el método de las 5S: aplicación a un caso real*. Universidad de Jaén.
- Monden, Y. (1998). *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-in-time*.
- Montañez, E. (2020). *Análisis de herramientas de mejora de procesos para incrementar la competitividad de un food truck*. Pontificia Universidad Católica de Perú.
- Ohno, T. (1991). *El sistema de producción Toyota. Más allá de la producción a gran escala* (SAX tractors, Trans.). Ediciones Gestión 2000.
- Ospino, A. (2020). *Importancia de la filosofía LEAN en la industria automotriz*. Universidad de Pamplona.
- Padilla, L. (2010). Lean Manufacturing. Manufactura esbelta o ágil. *Revista Ingeniería Primero*.
- Pérez P, J., & Gardey, A. (2021, September). *Estandarización - ¿Qué es? definición*. <https://definicion.de/estandarizacion/>

- Pérez P, J., & Merino, M. (2021, May). *Dispositivo - ¿Qué es? definición*. <https://definicion.de/dispositivo/>
- Pons, J. F. (2014). *Introducción a Lean Construction*.
- Pons, J. F., & Rubio, I. (2019). *Lean construction y la planificación colaborativa. Metodología de Last Planner System*. Gráficas Hispania Valladolid, S.L.
- Porras Díaz, H., Sánchez Rivera, O. G., & Galvis Guerra, J. A. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción. *Avances Investigación En Ingeniería*, 11(1), 32–53. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.298>
- RAE. (n.d.). *Estandarizar - ¿Qué es?* Diccionario Panhispánico de Dudas. Retrieved September 5, 2023, from <https://www.rae.es/dpd/estandarizar>
- Rojas, I., & Domínguez, C. (2021). *Deconstruyendo la Practica. Prototipo de Sistema Constructivo Industrializado*.
- Salinas, J., & Ulloa, K. (2014). *Implementación de BIM en proyectos inmobiliarios*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Smart, M. (2022). *Dispositivos para la construcción de IoT. Moko Smart*. <https://www.mokosmart.com/es/iot-in-construction/>
- Sornoza, J. A., Zambrano, R. W., Caballero, B. I., & Veliz, J. F. (2022). Materiales alternativos empleados en la construcción de viviendas en Ecuador: Una revisión. *Polo Del Conocimiento*. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i4.3875>
- Suárez, J. (2015). *Análisis de los efectos de la implementación de un sistema Andon en una planta ensambladora de vehículos para el aumento de la productividad*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>
- Tapia, J., Escobedo, T., Barrón, E., Martínez, G., & Estebañe, V. (2017, December). Marco de referencia de la aplicación de manufactura esbelta en la industria. *Ciencia y Trabajo VOL.19 NO.60*, 3–8.

- Tejeda, A. S. (2011). Mejoras de lean manufacturing en los sistemas productivos. *CIENCIA Y SOCIEDAD Volumen XXXVI, Número 2*, 290.
- Tezel, A. (2012). *Visual management: an exploration of the concept and its implementation in construction*. University of Salford.
- Toledano, D., Mañes, N., & García, S. (2009). Las claves del éxito de Toyota. Lean, más que un conjunto de herramientas y técnicas. *Cuadernos de Gestión, Vol. 9, Núm. 2*, 113–122.
- Universidad de Toyota. (2003). *Toyota. Una historia viviente. Una Historia real*. [Video recording]. Toyota Motor Sales U.S.A., Inc. <https://www.youtube.com/watch?v=CqXk3IWKAq8>
- Villaseñor, A., & Galindo, E. (2017). *Conceptos y reglas de Lean Manufacturing*. LIMUSA.
- Womack, J. (2006). *Muda, Mura, Muri*.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Ross, D. (1990). *La máquina que cambio al mundo*.

Abreviaturas.

BIM: Building Information Medeling

DRO: Director Responsable de Obra

ENVI: Encuesta Nacional de Vivienda

GPS: Global Positioning System /

GV: Gestión Visual

IEC: International Electrotechnical Commission /

IGLC: Grupo Internacional De Lean Construction

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

JIT: Just in Time

KPI: Key Performance Indicators / Indicador Clave de Rendimiento

LCI: Lean Construction Institute

LDM: Lean Daily Management

LPDS: Lean Project Delivery System

LPS: Last Planer System

MIT: Massachusetts Institute of Technology

NTC: Normas Técnicas Complementarias

PLC: Controlador Lógico Programable

RAE: Real Academia Española

TPS: Toyota Production System / Sistema De Producción De Toyota

TW: Toyota Way / Estilo Toyota

VSM: Value Stream Mapping

