



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA



GESTIÓN DE INVENTARIO EN OBRA BAJO METODOLOGÍAS MODERNAS

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE ARQUITECTO

Estudiante

Mauricio Eduardo Asin Ascarrunz

Modalidad

Práctica proyectual

Oficina

Tauro S.A.

Profesores Referentes

Gustavo Sarabia, Michelle Berhó

2026



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Gestión de inventario en obra bajo metodologías modernas

Nombre del candidato(a): Mauricio Eduardo Asin Ascarrunz

Carrera / Grado: Arquitectura/Arquitecto

Campus: Casa central Valparaíso **Departamento:** Arquitectura

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Gustavo Sarabia Fuentes, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

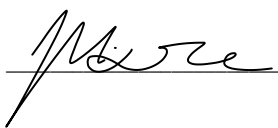
Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 11 / 09 / 2026 **Firma:** 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 11 / 09 / 2026 **Firma:** 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por sostenerme cuando el camino se hizo largo y por darme la calma necesaria para terminarlo.

A mi padre, **Armando**, por todo el esfuerzo silencioso de tantos años para que yo pudiera dedicarme a estudiar tranquilo sin preocupaciones.

A mi madre, **Cecilia**, por la insistencia paciente de cada llamada y por no dejarme aflojar cuando yo ya quería hacerlo.

A mi hermano, **Rodrigo**, por haber recorrido este mismo camino antes que yo y por compartir todo lo que aprendiste sin pedir nada a cambio. Por protegerme, cuidarme y jamás dejarme solo.

A mis amigos de **La Paz**, por las vueltas a casa, por las conversaciones y risas. Esta etapa fue mucho más liviana con ustedes alrededor.

A mis profesores referentes **Gustavo Sarabia** y **Michelle Berhó**, por la guía paciente y por ayudarme a que esta investigación encontrara su forma.

DEDICATORIA

A mi abuela Ruth, que me guía desde la eternidad.

A mi mamá Nelita, por ser mi raíz y mi refugio.

A mi padre, mi madre y mi hermano, por ser el núcleo
inquebrantable de donde proviene toda mi fuerza.

RESUMEN

La gestión de inventario en obras de edificios residenciales de gran escala suele descansar en criterios intuitivos, lo que produce un patrón sistemático en el que el avance de obra depende de la disponibilidad efectiva del almacén más que del cronograma planificado. Esta investigación tiene por objetivo formular un protocolo técnico de gestión de inventario aplicable a obras de ese perfil, sin recurrir a software especializado ni a reformas estructurales en la empresa constructora.

El estudio se desarrolla sobre ocho meses de práctica proyectual en el Edificio Panoramic de Tauro Construcciones S.A., en La Paz, tomado como caso empírico de referencia. El método combina observación directa en obra, entrevistas y aplicación de un Value Stream Mapping al flujo del cemento durante la etapa de tabiquería. Los resultados del diagnóstico revelan un ciclo total de abastecimiento de seis a doce días, con menos del diez por ciento de tiempo con valor añadido, y documentan un episodio de seis jornadas continuas de paralización de cuatro frentes de trabajo. El cálculo técnico aplicado al consumo registrado arroja un buffer de 307 bolsas y un punto de reorden de 366 bolsas, valores que sustituyen al criterio visual de 200 bolsas usado por el almacenero.

A partir de estos resultados se concluye que la combinación de dos metodologías permite cubrir el espectro completo del problema: No-Inventario para materiales con proveedor confiable y Buffer calculado por Teoría de las Restricciones para materiales con proveedor variable. La aplicabilidad de la propuesta se materializa en un protocolo de cuatro fases implementable en ocho semanas, replicable en obras residenciales con almacén de capacidad limitada y proveedores de confiabilidad heterogénea.

ABSTRACT

Inventory management on large-scale residential construction projects typically relies on intuitive criteria, producing a systematic pattern in which on-site progress depends on the actual availability of stored materials rather than on the planned schedule. This research aims to formulate a technical protocol for inventory management applicable to projects of this profile, without relying on specialized software or structural reforms within the construction company. The study is based on eight months of professional practice at the Panoramic Building of Tauro Construcciones S.A., in La Paz, taken as the empirical reference case. The method combines direct on-site observation, interviews and the application of Value Stream Mapping to the flow of cement during the partition wall stage.

The diagnostic results reveal a total supply cycle of six to twelve days, with less than ten percent of value-added time, and document a six-day continuous shutdown of four active work fronts. The technical calculation applied to the recorded consumption yields a buffer of 307 bags and a reorder point of 366 bags, values that replace the visual threshold of 200 bags used by the storekeeper.

From these results it is concluded that the combination of two methodologies covers the full scope of the problem: No-Inventory for materials with reliable suppliers, and a Buffer calculated through the Theory of Constraints for materials with variable suppliers. The applicability of the proposal takes shape in a four-phase protocol that can be implemented in eight weeks, replicable in residential projects with limited storage capacity and heterogeneous supplier reliability.

G L O S A R I O

Los términos están ordenados por aparición en el documento.

Value Stream Mapping (VSM). Herramienta de diagnóstico visual que traza el recorrido completo de un material desde su origen hasta su uso final, registrando cuánto tiempo demora cada etapa y clasificando ese tiempo en valor añadido (VA) y no valor añadido (NVA).

Toyota Production System (TPS). Sistema de producción desarrollado por Taiichi Ohno en Toyota durante la posguerra japonesa. Su principio central es producir lo necesario, cuando se necesita, en la cantidad exacta. Es el origen conceptual del Just-in-Time, del Kanban y de la mayoría de las herramientas Lean.

Just-in-Time (JIT). Pilar del TPS que postula que el material correcto debe llegar al puesto de trabajo en el momento exacto y en la cantidad exacta. Su aplicación elimina el inventario especulativo y reduce el desperdicio asociado a la sobreproducción.

Jidoka. Segundo pilar del TPS, complementario al JIT. Faculta a cualquier trabajador a detener la línea de producción al detectar un defecto, bajo el principio de que continuar trabajando con errores solo acumula problemas.

Sistema Push. Modelo de abastecimiento basado en pronósticos: la oferta empuja el material hacia el proceso siguiente con la expectativa de que la demanda lo absorba. Tiende a generar sobrestock cuando los pronósticos fallan.

Sistema Pull. Modelo opuesto al push. Nada se mueve hasta que existe una señal de demanda real desde el punto de uso. Limita físicamente la cantidad de material en tránsito y mantiene niveles de inventario menores que un sistema push equivalente.

Kanban. Mecanismo concreto que materializa el sistema pull. En su versión industrial es una tarjeta o señal visual: cuando un contenedor se vacía, la tarjeta se envía al proceso anterior como orden de reposición. En obra puede adaptarse como una marca pintada en la pared del almacén.

Takt time. Ritmo al que el sistema productivo debe operar para igualar la demanda real del cliente. En el TPS, el takt time iguala el ritmo del pedido al ritmo del consumo.

Heijunka. Nivelación de la producción. Distribuye el trabajo de manera uniforme en el tiempo para evitar picos de demanda que sobrecarguen al sistema.

Muda (desperdicio). Término japonés utilizado en el TPS para nombrar las siete categorías de desperdicio que el sistema busca eliminar: sobreproducción, espera, transporte innecesario, sobreprocesamiento, inventario excesivo, movimiento y defectos. Frecuentemente se añade un octavo: el talento humano no aprovechado.

Lean Construction. Movimiento iniciado por Lauri Koskela en 1992 que adapta los principios del TPS y del Lean Manufacturing al sector de la construcción, reconociendo las particularidades estructurales de las obras frente a la producción industrial.

No-Inventario. Aplicación extrema del JIT en la que la función de almacenamiento se desplaza al proveedor. El material llega directamente al punto de uso sin pasar por una etapa de acumulación intermedia. Aplicable a materiales con proveedores confiables.

Teoría de las Restricciones (TOC). Marco teórico desarrollado por Eliyahu Goldratt en 1984. Postula que el desempeño de cualquier sistema está determinado por su restricción más débil. Aporta los buffers de inventario como herramienta para absorber la variabilidad sin detener el sistema.

Buffer de inventario. Stock mínimo físico calculado técnicamente para absorber la variabilidad del proveedor sin detener la obra. Se calcula con tres variables: consumo diario, tiempo de reposición y factor de variabilidad. Aplicable a materiales con proveedor variable.

Punto de reorden. Nivel de stock que activa el pedido de reposición. Equivale al buffer más el consumo del día en que se realiza el pedido. Se materializa como una marca física visible en el almacén.

Kaizen. Filosofía japonesa de mejora continua. No busca una perfección final, sino un refinamiento constante a partir de lo que la operación diaria enseña. En el protocolo propuesto, sostiene la fase de refinamiento permanente del sistema.

Last Planner System. Sistema de planificación colaborativa desarrollado por Glenn Ballard (2000). Trabaja sobre todas las restricciones del proyecto a través de reuniones semanales con todos los contratistas. La planilla del apartado 3.4 toma su componente logístico (lookahead) sin implementar el sistema completo.

Lookahead. Componente del Last Planner System que anticipa las necesidades de las próximas tres a cuatro semanas. En la propuesta de esta investigación se materializa como una planilla semanal de pedidos anticipados que conecta el cronograma de obra con el sistema de abastecimiento.

ÍNDICE

Glosario	6
Empresa y proyecto de referencia: Tauro S.A. – Edificio Panoramic	10
SUBTEMA 1	
1. Diagnóstico del sistema de abastecimiento	15
1.1. Contexto del proyecto de referencia: Edificio Panoramic	15
1.2. El cuerpo del problema	20
1.3. La obra como sistema temporal	23
1.4. El almacén como síntoma, no como causa	24
1.5. VSM del cemento: mapeo del flujo real en obra	26
1.6. El costo invisible del desorden de abastecimiento.....	28
SUBTEMA 2	
2. Lo que el mundo ya sabe: metodologías de gestión de inventario	29
2.1. TPS y Just-in-Time: el punto de partida.....	30
2.2. Del TPS al No-Inventario: evolución del principio.....	37
2.3. Teoría de las Restricciones y Buffers de Inventario	42
2.4. Síntesis: las dos metodologías elegidas.....	50
SUBTEMA 3	
3. Diseño óptimo de implementación	53
3.1. Clasificación de materiales: categorías A, B y C.....	54
3.2. Cálculo del buffer para materiales categoría B	59
3.3. Sistema de No-Inventario para materiales categoría A.....	62
3.4. El cronograma de obra como herramienta logística.....	64
3.5. Protocolo de implementación por fases	67
Referencias bibliográficas	72
Anexos.....	73

TAURO CONSTRUCCIONES S.A.

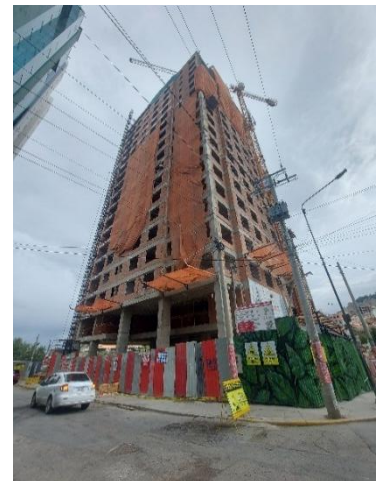
Tauro Construcciones S.A. es una empresa constructora boliviana fundada en 1977 en la ciudad de La Paz, que cuenta con más de 48 años de trayectoria continua en el sector. Reconocida por su solidez, calidad y prestigio en el mercado nacional, la firma opera bajo una filosofía que vincula la experiencia adquirida con la proyección hacia el futuro, orientándose al diseño, desarrollo y ejecución de proyectos de infraestructura e ingeniería civil de alta complejidad técnica.

Su modelo de negocio integra verticalmente el desarrollo inmobiliario con la construcción directa de obras. El alcance de la empresa abarca desde edificaciones residenciales y corporativas en altura, hasta megaproyectos de infraestructura como túneles, puentes, represas y acueductos. Entre sus obras más icónicas y representativas del país se destacan la Casa Grande del Pueblo, la Torre Pacífico, la Piscina Olímpica y el Hospital de la Banca Privada, proyectos que evidencian su capacidad operativa tanto en el sector público institucional como en el mercado privado.

Para garantizar la eficiencia y competitividad en cada obra, la organización cuenta con un equipo multidisciplinario permanente de ingenieros civiles, arquitectos y técnicos especializados, respaldados por un parque de maquinaria moderna propio en constante renovación. Con oficinas centrales ubicadas en la zona de Obrajes de la ciudad de La Paz, la empresa consolida su compromiso con el progreso del país a través de una gestión responsable y soluciones de ingeniería que destacan por su seguridad, confianza y excelencia constructiva.



Esta investigación toma a Tauro y al proyecto del edificio **PANORAMIC** como caso de referencia empírica. El sistema logístico descrito no es exclusivo de la empresa: es representativo de la realidad de obras residenciales de gran escala en la construcción. Las herramientas propuestas en el Subtema 3 están diseñadas para ser aplicables a cualquier proyecto de características similares.



Participar ocho meses en una obra de la envergadura del Edificio Panoramic ofrece algo que ningún manual puede dar: ver el sistema funcionar (y fallar) desde adentro. No como consultor externo que llega a auditar, sino como parte del equipo técnico que vive el día a día de la obra. Y lo que se vio, a medida que pasaban las semanas, fue un patrón que al principio parece normal porque todos lo asumen como parte de la construcción, pero que al mirarlo con detenimiento resulta sistemático, medible y evitable.

El patrón es este: la obra no avanza según lo que dice el cronograma. Avanza según lo que hay disponible en el almacén.

Hay días de trabajo frenético porque llegó material y todos saben que no saben cuándo llegará más. Hay días muertos porque el material que se necesitaba no llegó, el proveedor no avisó, y los contratistas no tienen con qué trabajar. Durante los primeros meses de 2026, ese ritmo errático llegó a su punto más crítico con seis días completos de paralización por falta de cemento. Cuarenta trabajadores en obra, jornada completa pagada, sin avanzar en la actividad principal planeada (tabiquería).

Lo curioso y lo que motiva esta investigación, es que el problema no era la falta de espacio, ni la falta de presupuesto, ni la falta de voluntad del equipo. Había un almacenero dedicado. Había un proceso de aprobación de pedidos. Había facturas y registros. El sistema existía. Lo que no existía era el criterio técnico que le dijera a ese sistema cuándo activarse y con cuánta anticipación.

La gestión del inventario de materiales en esta obra, como en la mayoría de las obras residenciales de gran escala, se basa en la percepción: se pide cuando alguien nota que queda poco. Ese **criterio intuitivo funciona en condiciones ideales** cuando el proveedor cumple, cuando el consumo es estable, cuando hay tiempo para reaccionar. Pero **en una obra real, ninguna de esas condiciones se cumple siempre**. Los proveedores fallan sin avisar. El consumo sube la primera semana de la quincena y baja la segunda. Y cuando el pedido solo puede hacerse los viernes, una detección del lunes llega cuatro días tarde.

La pregunta que surge de esa experiencia es simple: ¿existe una metodología que permita gestionar el inventario de materiales con criterio técnico en lugar de criterio intuitivo, sin necesidad de ampliar el almacén, cambiar de proveedor, ni implementar tecnología sofisticada? ¿Algo que el equipo técnico pueda aplicar con los datos que ya tiene, en la obra que ya tiene?

La respuesta es que sí existe. Más de una, de hecho. Y todas nacieron en la industria, no en la construcción, lo que obliga a estudiarlas con cuidado antes de proponer cualquier adaptación. Esa es la tarea de los tres subtemas que componen esta investigación: primero medir el problema con precisión, luego entender qué herramientas existen en la literatura y lo que se pone en práctica hoy en día, y finalmente diseñar un protocolo aplicable a la realidad de una obra residencial de gran escala.

SUBTEMA 1 — DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE MATERIALES EN OBRAS CON ALMACÉN DE CAPACIDAD INSUFICIENTE

El objetivo de este subtema es construir el diagnóstico desde adentro. No desde un análisis teórico de cómo debería funcionar el abastecimiento, sino desde lo que realmente se vio durante ocho meses de trabajo en el Edificio Panoramic de Tauro Construcciones.

Lo que se describe no pretende señalar errores de la empresa. Pretende hacer visible un patrón que, al observarlo con detenimiento, resultó ser sistemático y medible: un patrón que se repite en la mayoría de las obras residenciales de gran escala que no tienen una metodología formal de gestión del inventario de materiales.

1.1 CONTEXTO DEL PROYECTO DE REFERENCIA: EDIFICIO PANORAMIC

El Edificio Panoramic se ubica en el tramo final de la Av. 20 de Octubre, en su encuentro con la Av. Kantutani, Sopocachi, La Paz. La zona es densa, con vialidad intensa y accesos restringidos para camiones de carga. No existe espacio público para acopio externo de materiales: toda la gestión de inventario debe resolverse dentro del perímetro del terreno.

Es un edificio residencial de 20 pisos con 204 departamentos de uno y dos dormitorios. La superficie del terreno es de 1.268,68 m². Una doble zonificación normativa obliga a retranquear el volumen a partir del piso 15 en el costado de Av. Kantutani, reduciendo la planta de ~750 m² a ~500 m² en los pisos superiores. La participación abarcó ocho meses, septiembre 2025 a abril 2026, cubriendo desde la etapa intermedia de obra gruesa

(estructura), la tabiquería casi completa, y el inicio de la obra fina. Las instalaciones eléctricas y sanitarias se ejecutaron en paralelo a la tabiquería.

PLANO DE EMPLAZAMIENTO, INFORMACIÓN TÉCNICA Y PLANIMETRÍAS DEL PROYECTO

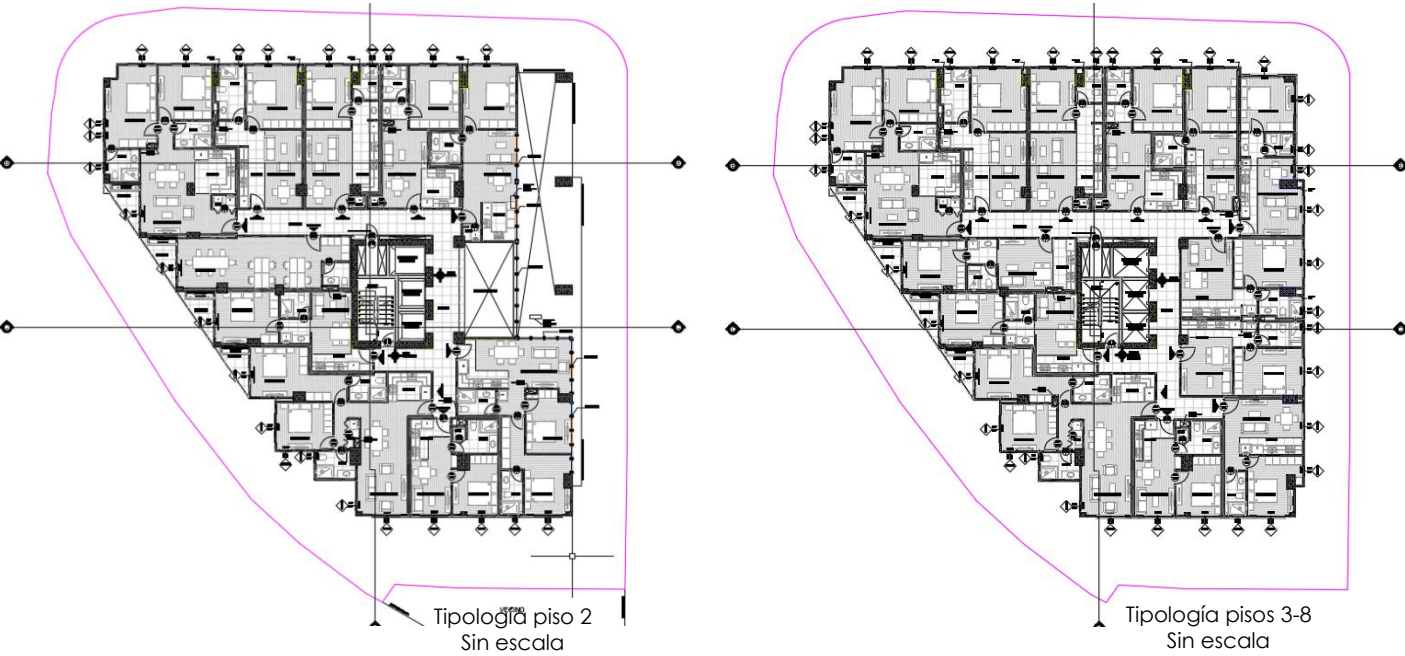


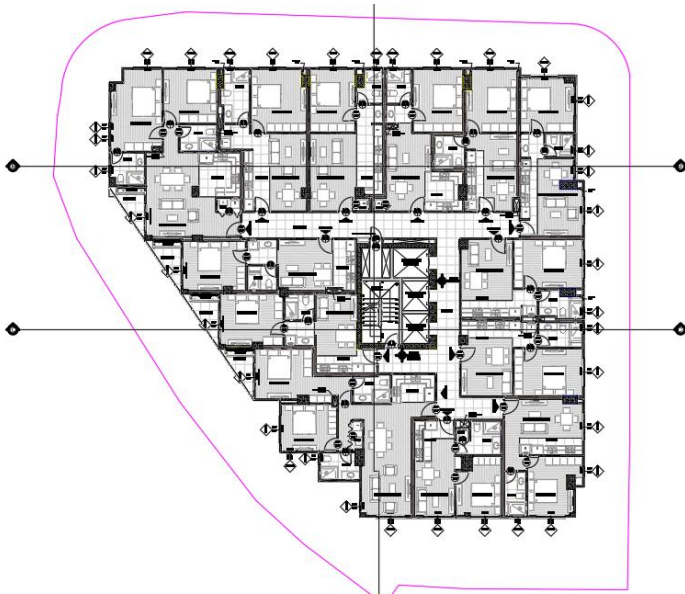
Figura 1.1. Plano de emplazamiento del Edificio Panoramic. Av. 20 de Octubre final · Av. Kantutani · Sopocachi, La Paz - Bolivia Fuente: Elaboración propia

Pisos / Departamentos	20 pisos · 204 dptos (1 y 2 dorm., hasta 13/planta)
Superficie terreno	1.268,68 m ²
Planta pisos 1–14	~750 m ² promedio
Planta pisos 15–20	~500 m ² (retranqueo normativo)
Personal obra gruesa	~20 personas (2 cuadrillas contratistas)
Personal tabiquería	~40 personas (4 cuadrillas contratistas)
Período participación	Septiembre 2025 — Abril 2026 (8 meses)

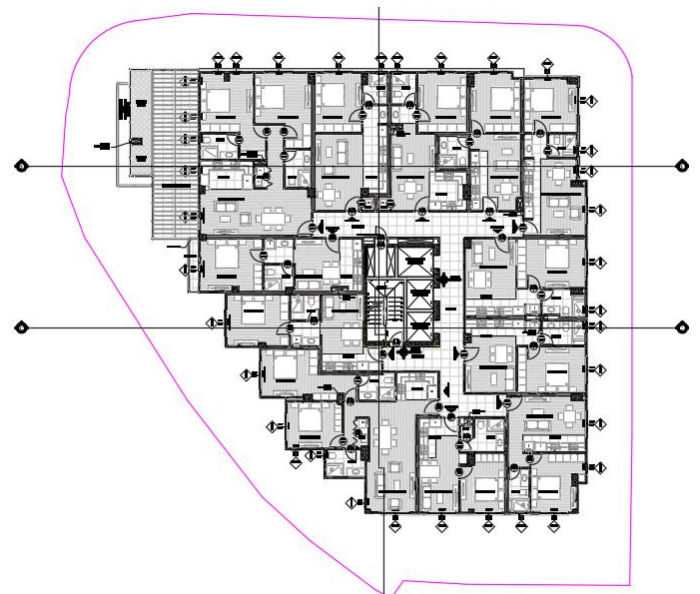
Tabla 1.1. Información técnica del Edificio Panoramic. Fuente: elaboración propia con datos de Tauro Construcciones S.A.

PLANTAS TIPOLOGICAS — 7 variantes

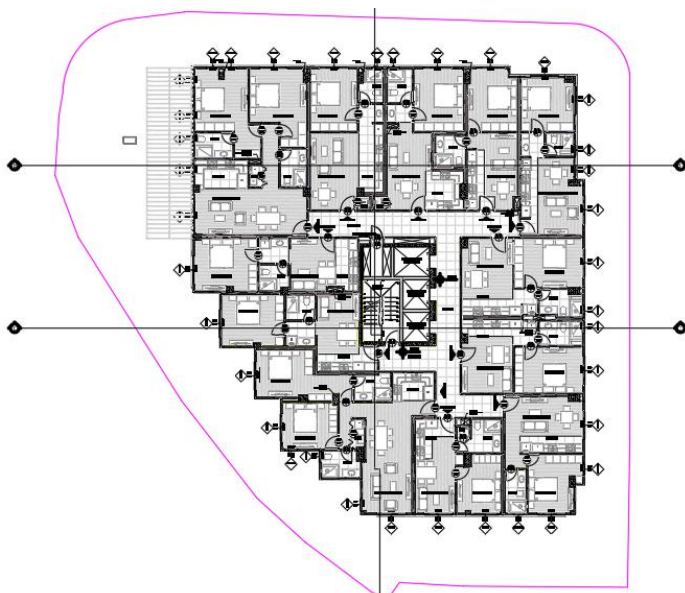




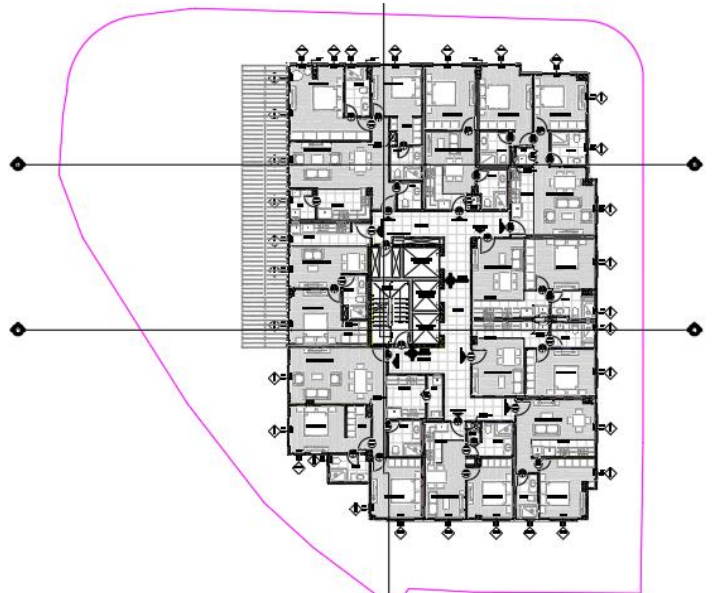
Tipología piso 9
Sin escala



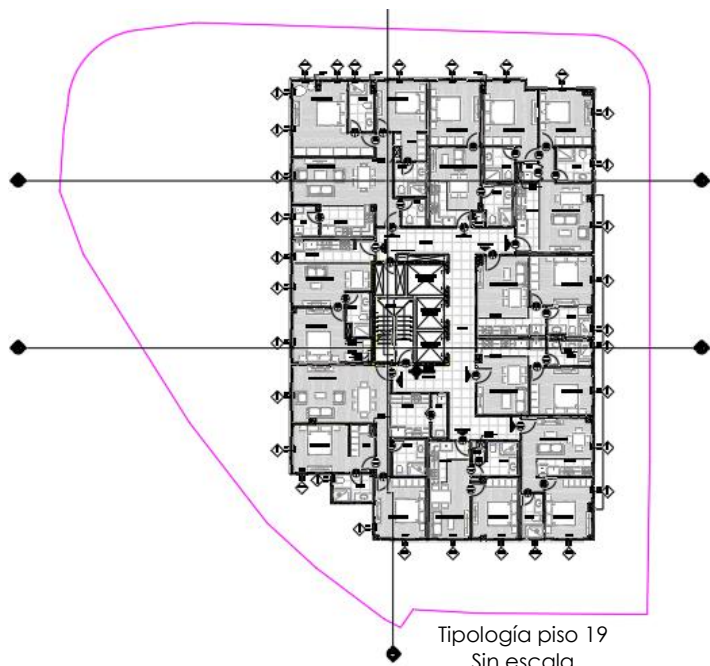
Tipología pisos 10-13
Sin escala



Tipología piso 14
Sin escala



Tipología pisos 15-18
Sin escala



1.2 EL CUERPO DEL PROBLEMA: CÓMO SE MANIFIESTA LA FALTA DE METODOLOGÍA DE INVENTARIO EN OBRA

Lo que se observa en obra no es caos. Hay un proceso definido, hay un almacenero, hay facturas. El sistema de pedidos existe: el especialista hace su planilla, el director de obra la revisa y aprueba, y el almacenero ejecuta el pedido. Lo que no existe es la señal técnica que le diga a ese sistema cuándo activarse.

El sistema de alerta actual se basa en que el almacenero detecta visualmente que hay que pedir cemento cuando percibe que quedan alrededor de 200 bolsas. Ese número no lo calculó nadie: es una cifra empírica, sacada de la experiencia pasada. El problema es que con un consumo aproximado de 59 bolsas diarias y un proveedor que tarda 4 días (en el mejor caso), 200 bolsas son apenas 3.4 días de cobertura. No alcanza.

A eso se suma una restricción que agrava todo: los pedidos solo pueden hacerse los viernes hasta las 18:00 horas. Si el almacenero detecta el nivel crítico el lunes, el pedido no sale hasta el viernes. Para entonces, la obra necesitará 236 bolsas para cubrir esos cuatro días de espera, más de las 200 que quedaban en stock. El desabastecimiento está garantizado antes de que el pedido siquiera se realice.

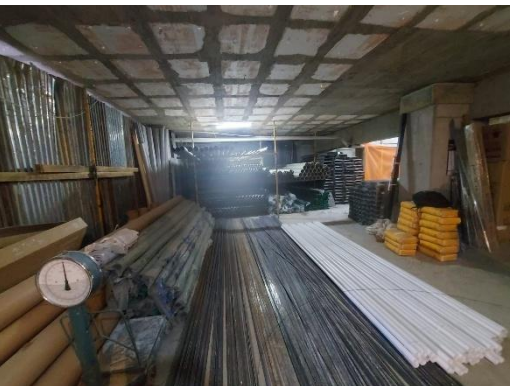
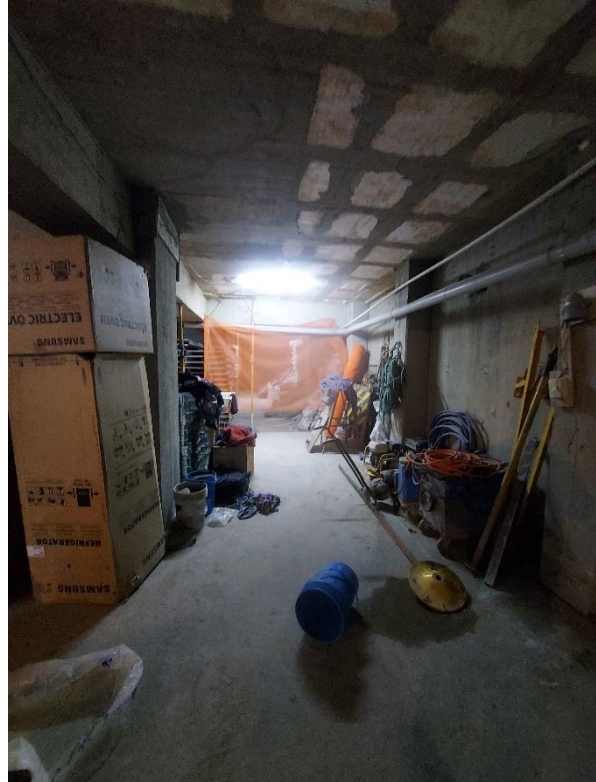


Figura 1.2. Estado actual del almacén del Edificio Panoramic. Fuente: registro fotográfico propio, abril 2026.

El almacén y sus adaptaciones

El almacén tiene capacidad para 560 bolsas de cemento. Pero el cemento no está ahí: cuando la tabiquería arrancó, el almacén fue ocupado con tres toneladas de estuco amontonado sin envasar. El cemento terminó en un espacio junto a la oficina de ventas, estación de acopio improvisada.

El episodio crítico: Una semana sin cemento

Del 1 al 6 de marzo de 2026 el Edificio Panoramic se quedó sin cemento. Seis días completos. Los cuatro equipos de contratistas en tabiquería y contrapisos no podían avanzar. Hicieron faenas menores, pero la actividad principal quedó suspendida.

Un segundo y tercer episodio

El cemento debía llegar el martes y llegó el jueves. El almacén tenía 20 bolsas menos de cuatro horas de trabajo. La obra estuvo al límite de nuevas paralizaciones severas. El proveedor, cementos Fancesa, no avisa cuando no puede cumplir. No existe proveedor alternativo viable.

Consumo semanal promedio	320 bolsas / semana normal de trabajo
Consumo diario	59 bolsas / día hábil
Capacidad almacén para cemento	560 bolsas sin obstaculizar el trabajo
Stock al 10/04/2026	370 bolsas = 6.2 días de cobertura
Nivel de alerta informal	Aprox 200 bolsas = 3.4 días (insuficiente)
Tiempo de reposición proveedor	4 días normal / hasta 7 días con falla
Fallos en últimos 10 pedidos	3 llegadas tardías sin aviso previo
Horario de entrega	5:00am o 9:00pm (2h 40min de descarga)
Día de pedido permitido	Solo viernes hasta las 18:00h

Tabla 1.2. Datos de abastecimiento de cemento. Fuente: almacenero de obra, abril 2026.

1.3 LA OBRA COMO SISTEMA TEMPORAL: PORQUE LA CONSTRUCCIÓN NO FUNCIONA COMO UNA FABRICA.

Los sistemas de gestión de inventario nacieron en fábricas donde los procesos son repetitivos y el espacio es fijo. Una obra de edificación no funciona así. En una fábrica, el producto se desplaza por estaciones de trabajo estáticas. En una obra, es al revés: el edificio es estático y todos los recursos deben moverse hacia él.

El espacio de trabajo cambia cada semana: la zona de tabiquería del piso ocho hoy es la zona de instalaciones mañana. La demanda de materiales cambia con cada etapa: durante la estructura el hormigón y fierro dominaba; en tabiquería lo hace el cemento. Koskela (1992) formalizó esta distinción: la construcción ha sido gestionada como si fuera manufactura, ignorando sus diferencias estructurales.

En el Edificio Panoramic esto se hace evidente no solo en los materiales sino en los propios equipos de trabajo: una cuadrilla que hoy está haciendo tabiquería en el piso doce, mañana puede estar en el piso siete terminando detalles pendientes, y pasado en el quince iniciando una nueva planta. Esa movilidad constante hace que el punto de consumo del material cambie de un día para otro, que el recorrido desde el almacén varíe, y que la planificación del abastecimiento no pueda anclarse a una ubicación fija como sí puede hacerlo una línea de producción industrial. La obra no tiene una geometría logística estable: la construye ella misma a medida que avanza.

Esta diferencia no invalida las metodologías estudiadas: las condiciona. El sistema propuesto en el Subtema 3 trata la variabilidad de la demanda como dato del sistema, no como fenómeno a corregir, y usa el cronograma de obra como herramienta de anticipación.

1.4 EL PEQUEÑO ALMACÉN COMO SÍNTOMA, NO COMO CAUSA

Cuando el abastecimiento falla, la primera respuesta suele ser: hace falta un almacén más grande para poder acumular más material para más tiempo. Es una lectura comprensible, pero confunde el síntoma con la causa. En el proyecto Panoramic, cuando la tabiquería empezó el almacén fue ampliado. Estaba más lleno que en ninguna etapa anterior: tres toneladas de estuco, ductos, tuberías, herramientas. Aun así, con una mayor capacidad de almacenaje ocurrió la semana sin cemento.

El almacén tenía material. Solo que no tenía el material que se necesitaba en ese momento. Mientras el cemento faltaba, había accesorios sanitarios de un diseño modificado que ya no se iban a usar. Sobre stock de un material, desabastecimiento de otro, en el mismo momento. Es la huella de un sistema sin criterios adecuados de prioridad.

La pregunta correcta no es ¿cómo tengo más espacio? sino ¿qué material no puede faltar en ninguna circunstancia, y ¿cómo me aseguro de que nunca falte? A partir de esa pregunta, el almacén disponible (el que ya existe) puede ser más que suficiente.

Esta memoria no propone ampliar el almacén. Propone cambiar la metodología con que se gestiona el que ya existe. La diferencia entre el estado actual y el propuesto no es de infraestructura: es de criterio, planificación y diseño.

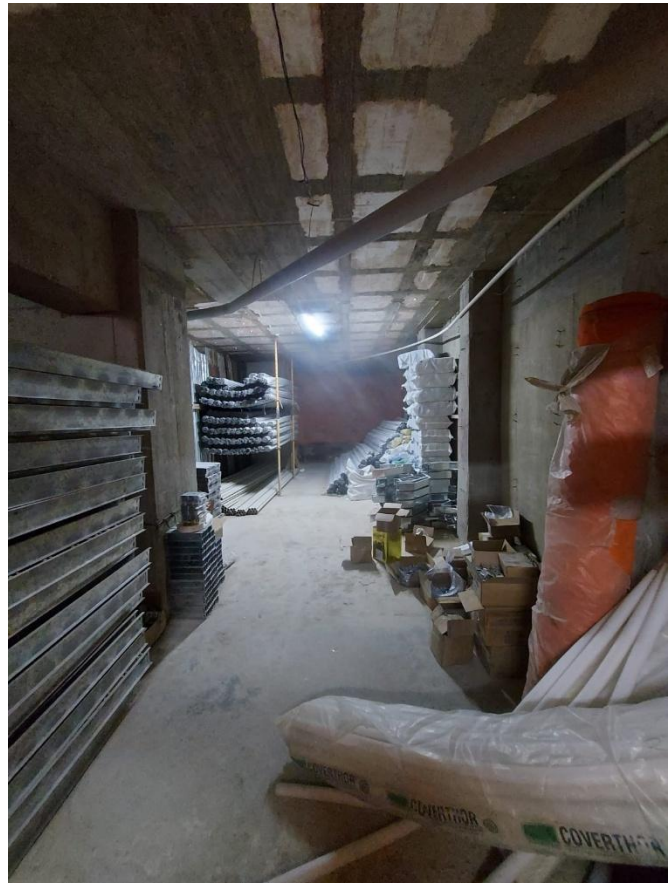


Figura 1.3. Zonas de acopio improvisadas por falta de espacio en almacén del Edificio Panoramic.

Fuente: registro fotográfico propio, abril 2026.

1.5 MAPEO DEL FLUJO REAL EN OBRA DE UN MATERIAL CRÍTICO: VSM DEL CEMENTO

Para hacer visible lo que se describió en los apartados anteriores, el tiempo de espera, la restricción del viernes, la variabilidad del proveedor, el nivel de alerta insuficiente, hace falta una herramienta que lo muestre todo junto, en una sola imagen, con datos reales. Esa herramienta es el Value Stream Mapping.

El Value Stream Mapping, o VSM, es un método de diagnóstico visual desarrollado en el marco del Toyota Production System y sistematizado por Womack y Jones (1996) en el campo del Lean Manufacturing. Su función es trazar el recorrido completo de un material desde su origen hasta su uso final, registrando en cada etapa cuánto tiempo demora y clasificando ese tiempo en dos categorías: tiempo que agrega valor (cuando el material se incorpora al producto final) y tiempo que no agrega valor (cuando espera, se mueve innecesariamente, o se almacena sin que nadie lo use).

La conclusión que el VSM muestra casi invariablemente es que el tiempo que agrega valor representa una fracción pequeña del ciclo total. El resto, que puede llegar al 80 o al 90 por ciento, es espera en alguna de sus formas. En manufactura eso se traduce en ineficiencia; en construcción, en días de obra perdidos.

En esta investigación, el VSM se aplica al flujo del cemento dentro del Edificio Panoramic. La elección del cemento como material trazador responde a tres razones concretas: es el material con mayor consumo constante durante la etapa de tabiquería y contrapisos, su ausencia paraliza simultáneamente a todos los frentes de trabajo activos, y los datos necesarios para construir el mapa estaban disponibles a partir de la entrevista con el almacenero realizada en abril de 2026.

El mapa registra cada etapa del recorrido: desde el momento en que el almacenero detecta que hay que pedir, hasta que el material se incorpora a la mezcla en el frente de trabajo. El ciclo completo oscila entre 6 y 12 días, de los cuales menos del 10% corresponde a tiempo que agrega valor. La etapa más crítica es la restricción de pedir solo los viernes: una detección del lunes introduce cuatro días adicionales de espera antes de que el proveedor sepa que tiene que entregar.

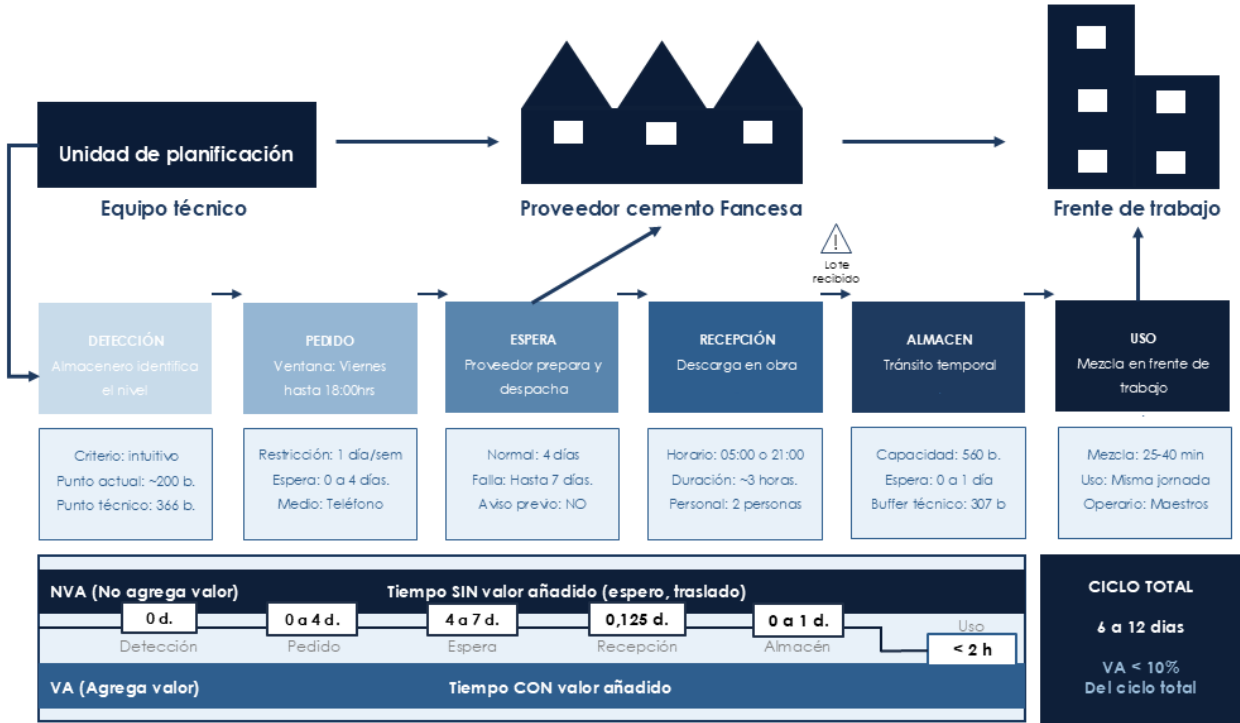


Figura 1.4. Value Stream Mapping del flujo del cemento. Fuente: elaboración propia con datos del almacenero, abril 2026.

1.6 EL COSTO INVISIBLE DEL DESORDEN DE ABASTECIMIENTO

Los episodios de desabastecimiento tienen un costo que no aparece en el presupuesto de materiales. Y precisamente porque no aparece, nadie lo suma ni lo usa como argumento para cambiar el sistema.

Horas-hombre improductivas

Durante los seis días sin cemento de marzo, 40 trabajadores realizaron tareas de menor jerarquía. El costo de esas jornadas se pagó igual. Esto representa una pérdida operativa real que no se hace visible en ningún registro.

Costo = 40 personas x 10 jornadas x costo-jornada.

Deterioro en acopio inadecuado de otros materiales.

El estuco amontonado sin envasar está expuesto a humedad. El fierro acumulado en exceso (pedido de más por miedo al desabastecimiento) corre riesgo de oxidación. Cada caso es pérdida de material o de recurso humano que genera un costo adicional actualmente invisible.

Sobrecosto de compra de urgencia.

Cuando se compra cemento en plena emergencia a otro distribuidor, se pierde el descuento de Fancesa y muchas veces se paga transporte extra porque el proveedor alternativo no tiene la logística habitual de entrega.

El costo invisible del desorden logístico se distribuye entre tiempo perdido, deterioro de materiales y sobrecosto en pedidos de emergencia. Hacerlo visible es el primer paso para justificar el cambio.

SUBTEMA 2 — LO QUE EL MUNDO YA SABE: RELEVAMIENTO DE METODOLOGÍAS DE GESTIÓN DE INVENTARIO

Las metodologías que se estudian en este subtema no nacieron en la construcción. Nacieron en las fábricas japonesas de la posguerra, en las plantas automotrices de Estados Unidos, en los centros de distribución de las grandes empresas de comercio electrónico. Todas comparten algo: fueron diseñadas para sistemas productivos repetitivos y relativamente predecibles. La construcción no es ninguna de las dos cosas. Pero eso no significa que estas herramientas no tengan nada que aportar. Significa que hay que leerlas con cuidado: ¿qué problema específico resuelve cada una? ¿Qué condiciones necesita para funcionar? ¿Qué se puede trasladar, con adaptaciones, a la realidad de una obra residencial de gran escala?

La estructura de este capítulo sigue un orden deliberado. Se parte del Toyota Production System, que es el sistema de origen conceptual. Desde ahí se explica cómo surge el No-Inventario como conclusión lógica del principio Just-in-Time. Después se analiza la Teoría de las Restricciones, que aporta la herramienta que el No-Inventario por sí sola no puede cubrir: el manejo de la incertidumbre cuando el proveedor no es confiable.

Al final, una síntesis que explica por qué la propuesta del Subtema 3 selecciona estas dos metodologías específicas y no otras.

2.1 TOYOTA PRODUCTION SYSTEM Y JUST-IN-TIME: EL PUNTO DE PARTIDA

El origen de las metodologías que se estudian en este subtema está en un lugar específico: Japón, después de la Segunda Guerra Mundial, dentro de una fábrica de autos llamada Toyota. Ese origen importa porque explica qué problemas resuelven bien estas herramientas y cuáles no.

Toyota en los años cuarenta no estaba en condiciones de comprar grandes lotes de materia prima como lo hacía Ford en Estados Unidos. El capital era escaso, el espacio era escaso, y el mercado japonés era más chico y diverso: no se podía fabricar un único modelo en miles de unidades porque no había demanda para eso. Taiichi Ohno, jefe de producción de la empresa, pasó décadas construyendo un sistema que respondiera a esas limitaciones. Lo llamó Toyota Production System (Ohno, 1988; Monden, 2012).

El principio central es aparentemente simple: producir exactamente lo que se necesita, cuando se necesita, en la cantidad que se necesita. Ningún material debía fabricarse ni moverse sin que hubiera una demanda real que lo justificara. Todo lo demás, todo lo que no agregaba valor al producto final, era desperdicio, y el objetivo era eliminarlo.

Lo que hizo al TPS influyente fuera de Japón fue su eficacia demostrada. A partir de los años setenta, los autos japoneses competían con los norteamericanos ofreciendo mejor calidad a menor precio y con menor tiempo de fabricación. Cuando Womack, Jones y Roos publicaron *The Machine That Changed the World* (1990), documentaron con datos comparados por qué esto ocurría, y el sistema pasó a ser objeto de estudio en universidades y consultoras de todo el mundo.

Los dos pilares del sistema.

El TPS descansa sobre dos pilares que trabajan en conjunto. El primero es el Just-in-Time: el material correcto llega al puesto de trabajo en el momento exacto y en la cantidad exacta. El segundo es el Jidoka: cualquier trabajador puede detener la línea de producción si detecta un defecto, porque continuar trabajando con errores solo acumula problemas.

Para el tema de esta investigación, la gestión del inventario en obra, el pilar relevante es el Just-in-Time. Su aplicación directa y la lógica que lo sostiene son las que fundamentan las herramientas de los apartados siguientes.



Figura 2.1. La Casa del Toyota Production System: estructura conceptual del sistema. Fuente: elaboración propia con base en Liker (2004).

Push vs Pull: La distinción que cambia todo.

Hay una distinción dentro del TPS que sirve de base para todo lo que viene: push contra pull.

En un sistema push, el abastecimiento se basa en pronósticos. Alguien estima cuánto material va a necesitarse en las próximas semanas y lo pide en anticipación. La oferta empuja el material hacia adelante, con la esperanza de que la demanda lo absorba. Si la estimación es buena, funciona. Si no lo es, **aparecen dos problemas a la vez: sobrestock de lo que sobra y desabastecimiento de lo que falta.**

En un sistema pull pasa lo contrario. Nada se mueve hasta que existe una señal de demanda real. El proceso siguiente en la cadena le avisa al anterior que necesita material, y solo entonces el material se produce o se traslada. La demanda jala al abastecimiento desde el punto de uso.

Hopp y Spearman (2004) demostraron con modelos matemáticos que los sistemas pull mantienen inherentemente menores niveles de inventario que los sistemas push equivalentes, porque limitan físicamente la cantidad de material en tránsito en cualquier momento dado.

Esto conecta directamente con lo observado en el proyecto de referencia. El sistema actual del proyecto es push, y bastante reactivo: el cemento se pide cuando el almacenero ve que está por acabarse. Nadie consulta el cronograma de obra para anticipar el consumo de la próxima semana. La señal llega desde el stock que se agota, no desde el trabajo que se va a ejecutar.

SISTEMA DE GESTIÓN DE INVENTARIO PUSH VS PULL



PUSH – MODELO REACTIVO	PULL – MODELO PROPUESTO
Pronóstico especulativo	Demanda real activa
Lotes grandes de pedido	Pedidos precisos y programados
Alto inventario en obra	Inventario mínimo calculado
Desperdicio y deterioro	Sin desperdicio acumulado
Gestión reactiva a la crisis	Gestión anticipada (lookahead)
Sin señal de demanda real	Señal Kanban: Punto de reorden
Proveedor decide cuánto y cuando	La obra decide cuánto y cuando

Figura 2.2. Esquema comparativo entre los sistemas de gestión Push y Pull. Fuente: elaboración propia.

El Kanban como mecanismo concreto

Saber que el sistema debería funcionar en modo pull es una cosa. Hacerlo funcionar en la práctica es otra. Toyota resolvió el problema con un mecanismo que llamó Kanban, palabra japonesa que significa tarjeta o señal visual. “El nombre «Kanban» combina dos palabras japonesas: 看 (Kàn), que significa «señal visual», y 板 (Bǎn), que significa «tablero».” (Martins, 2026).

En su versión industrial, cada contenedor de material lleva una tarjeta. Cuando el contenedor se vacía, la tarjeta se envía al proceso anterior como una orden de reposición. Sin la tarjeta, el proceso anterior no produce ni mueve nada. Es un sistema simple: visual, físico, imposible de ignorar.

La traducción del Kanban al contexto de una obra no requiere tecnología. En su forma más básica, puede ser una línea pintada en la pared del almacén que marca el nivel mínimo de stock. Cuando el material baja de esa línea, se hace el pedido ese mismo día. La lógica es idéntica al Kanban original; lo que cambia es el soporte. Esa idea, adaptada, es uno de los mecanismos que se proponen en el Subtema 3 para el caso del cemento en el Edificio Panoramic.

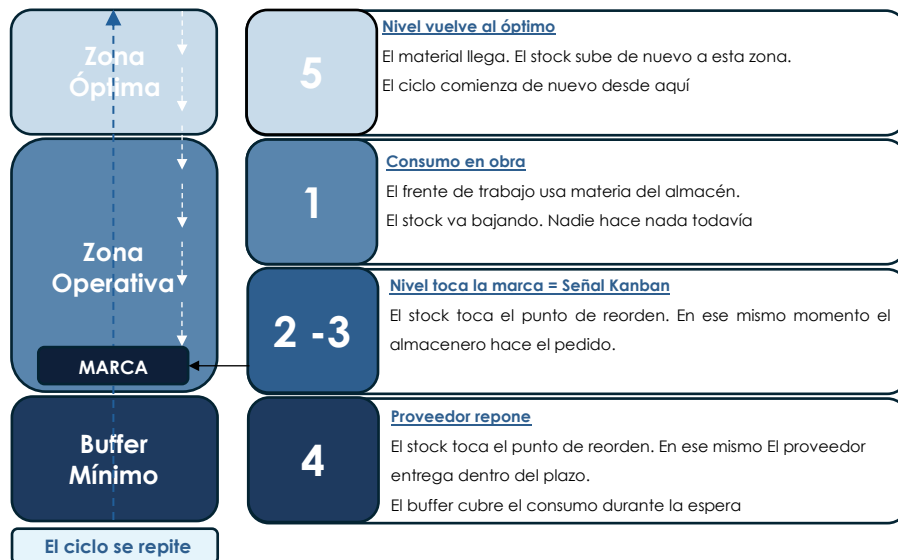


Figura 2.3. Modelo del sistema TPS y Kanban aplicado a la obra. Fuente: elaboración propia.

Los siete desperdicios (Muda) y su equivalente en obra.

Ohno identificó siete formas de desperdicio que el TPS busca eliminar. Aunque la lista original fue pensada para manufactura, varias de esas categorías tienen equivalente directo en una obra de construcción: Sobreproducción, Espera, Transporte Innecesario, Inventario excesivo, Movimiento, Sobreprocesamiento, Defectos. A menudo también se añade el octavo desperdicio: Talento humano no utilizado a esta lista.

Equivalencias en obra:

- **Sobreproducción o sobreabastecimiento.** Pedir material antes de necesitarlo. En el Panoramic se vio durante la etapa de obra gruesa con el fierro, que se acumulaba en cantidades que excedían el consumo inmediato por miedo a quedarse sin material.
- **Espera.** Tiempo perdido esperando recursos. Las diez jornadas aproximadas perdidas por falta de cemento entran exactamente en esta categoría.
- **Transporte innecesario.** Mover el material más veces de las necesarias. El recorrido del cemento desde el acopio improvisado junto a la oficina de ventas hasta el montacargas, después al piso correspondiente, y finalmente al punto exacto de uso, tiene etapas que podrían reducirse con una mejor ubicación del acopio.
- **Inventario excesivo.** Stock que ocupa espacio y capital sin uso inmediato. Los accesorios sanitarios del diseño modificado, que ya no se iban a usar, son el ejemplo claro.
- **Talento humano no aprovechado.** En la obra se manifiesta en que el almacenero gestiona el inventario de memoria, cuando podría estar apoyado por un sistema de señales técnicas que no dependa de su percepción.

Identificar estas categorías sirve para elegir la herramienta adecuada para cada una en el Subtema 3

Límites y restricciones del TPS en la construcción.

El TPS tiene alcances limitados cuando se lo lleva a la construcción. El sistema completo fue pensado para procesos estandarizados y tiempos de ciclo predecibles: una línea de producción automotriz produce miles de unidades del mismo modelo, con variaciones mínimas. Una obra de edificación no cumple esas condiciones. La demanda de materiales cambia radicalmente entre etapas, los equipos rotan, el espacio de trabajo se reconfigura, y cada proyecto es suficientemente distinto del anterior como para que la estandarización sea parcial.

Bertelsen y Koskela (2002) fueron claros al respecto: intentar aplicar el TPS sin adaptación es el error metodológico más común en el campo del Lean Construction. Lo que sí se traslada sin problema son los principios, pull, señal de demanda, eliminación de desperdicio, y algunas herramientas adaptadas, como el Kanban simplificado. El resto queda como marco conceptual: fundamenta por qué ciertas cosas funcionan, aunque no sea el sistema que se propone implementar.

2.2 DEL TPS AL NO-INVENTARIO: EVOLUCIÓN DEL PRINCIPIO

El No-Inventario no apareció como una metodología aislada ni como invención posterior al TPS. Es el principio del Just-in-Time llevado al extremo. El razonamiento es breve y cerrado: si el inventario es desperdicio, según la definición de Ohno, y el objetivo del JIT es que el material llegue en el momento exacto en que se necesita, entonces el inventario ideal es cero.

El material no debería pasar por una etapa de almacenamiento: debería llegar directamente al punto donde va a ser usado.

Durante los años noventa, esta idea se desarrolló con fuerza fuera de la industria automotriz. El caso más citado en la literatura es el de Dell Computer. A mediados de esa década, Dell ensamblaba computadoras bajo pedido sin mantener un stock significativo de productos terminados. Cuando un cliente hacía un pedido online, Dell compraba los componentes justo para ese pedido, lo ensamblaba, y lo despachaba en aproximadamente 36 horas. El ciclo entero, desde la compra del cliente hasta la entrega, evitaba el almacenamiento intermedio por completo (Magretta, 1998). Era el No-Inventario aplicado a una cadena global de suministro.

La adaptación en la construcción.

Quien trasladó estas ideas al campo de la construcción, de manera formal y sistemática, fue Lauri Koskela (1992). En un informe técnico publicado por el Center for Integrated Facility Engineering de la Universidad de Stanford, Koskela argumentó que los principios de minimización de inventario desarrollados en manufactura eran aplicables a la construcción, siempre que se adaptaran a las particularidades del sector. Ese trabajo dio origen al movimiento del Lean Construction, que a partir de los años noventa se extendió a equipos de investigación en Estados Unidos, Europa, Brasil y Chile.

La idea central que propone el No-Inventario en obra es que el almacenamiento no desaparece: se desplaza. El constructor deja de mantener un stock especulativo dentro del perímetro de la obra, y esa función pasa al proveedor, que reserva el material en sus propias instalaciones y lo entrega directamente cuando el cronograma de obra lo requiere. El proveedor deja de ser un suministrador reactivo que espera llamadas, y pasa a ser un socio logístico que planifica sus despachos en función del avance real del proyecto.

Para que este arreglo funcione hace falta una condición que no siempre se cumple: el constructor tiene que compartir su cronograma con el proveedor con suficiente anticipación. Ballard y Howell (1994) establecieron que el horizonte mínimo viable para materiales estándar es de tres semanas. Menos que eso, y el proveedor no alcanza a organizar la logística de despacho; más de tres semanas, y aparece margen para que el cronograma cambie antes de que el material salga.

MODELO TRADICIONAL



¿Qué genera este modelo?

Múltiples puntos de stock

El material se acumula en cada eslabón de la cadena

Capital inmovilizado

Lo que está en obra es capital que no genera retorno

Riesgo de deterioro

Cemento, estuco, mortero y aglomerantes pierden propiedades

VS

MODELO NO-INVENTARIO



¿Qué genera este modelo?

El proveedor almacena

La función de bodega la asume quien tiene capacidad real

Entrega según cronograma

El material llega el día en que la obra lo necesita

Almacén como punto de paso

Lo que llega se despacha al frente de trabajo, no se acumula

Figura 2.4. Esquema comparativo entre Modelo de gestión de inventario tradicional vs el No-Inventario. Fuente: elaboración propia.

Modalidades prácticas.

En la práctica constructiva, el No-Inventario se presenta en tres modalidades que se adaptan a distintos tipos de material.

La primera es la entrega programada bajo cronograma. Es la modalidad más común y también la más aplicable al caso del Edificio Panoramic. El constructor le pasa al proveedor el programa de obra; ambas partes acuerdan fechas de entrega específicas por etapa; el proveedor reserva el material y entrega en las fechas pactadas. Funciona bien para bloques, ladrillos y acero estructural procesado.

La segunda es el contrato de suministro abierto. Se pacta al inicio de la obra un precio y un volumen total, pero las entregas se solicitan en fracciones según avanza el trabajo. El proveedor obtiene previsibilidad comercial; el constructor conserva flexibilidad sobre el timing.

La tercera y más radical es la entrega directa a pie de obra. El material llega al punto exacto de uso sin pasar por el almacén intermedio. Es la lógica con la que opera el concreto premezclado, que se pide para el día del vaciado y llega en ese momento, directamente a la zona donde va a ser colocado. Es el modelo de No-Inventario más puro que existe en construcción.

¿Por qué no puede aplicarse directa y exclusivamente al cemento del Edificio Panoramic y construcciones de edificios residenciales de gran escala?

Esto es importante decirlo con claridad antes de seguir. Para el cemento en el Edificio Panoramic, el No-Inventario puro no es viable. Cementos Fancesa, el único proveedor del proyecto falló en tres de los últimos diez pedidos registrados por el almacenero, sin avisar con anticipación.

Un sistema que depende de entregas programadas requiere que el proveedor sea confiable; si no lo es, el sistema colapsa en los primeros episodios de falla.

Eso no significa que el No-Inventario no sirva para otros materiales de la obra. Sirve, y se propone usarlo en el Subtema 3 para la categoría de materiales cuyos proveedores sí tienen historial de cumplimiento consistente. Para el cemento, y para todos los materiales de proveedores variables, hace falta otra herramienta.

Esa otra herramienta se llama buffer de inventario, y su origen está en una teoría distinta del management industrial, desarrollada en paralelo al Lean Manufacturing.

Alarcón (1997), referente latinoamericano del Lean Construction, llegó a una conclusión similar estudiando obras chilenas: incluso con implementación rigurosa, algún nivel de buffer es necesario para absorber la variabilidad real de los proveedores locales. La realidad del mercado constructivo en Sudamérica no permite el No-Inventario puro. Lo que puede llegar a permitir es un sistema híbrido: No-Inventario donde el proveedor responde, buffer donde no lo hace.

2.3 TEORÍA DE LAS RESTRICCIONES Y BUFFERS DE INVENTARIO

La Teoría de las Restricciones (en inglés Theory of Constraints (TOC)) nació en un contexto y con una lógica distintos al TPS, aunque terminó siendo compatible con él. Su creador fue Eliyahu Goldratt, físico israelí, y la presentó al mundo en una novela titulada *The Goal*, publicada en 1984. La elección del formato narrativo no fue casual: Goldratt estaba convencido de que los conceptos de gestión debían entenderse de forma intuitiva antes que memorizarse como reglas. La novela cuenta la historia de un gerente de fábrica que descubre cómo mejorar su planta siguiendo la guía de un físico, trasunto del propio Goldratt. Se vendieron más de seis millones de copias y se tradujo a decenas de idiomas.

El principio central puede enunciarse en una sola frase: en cualquier sistema que persiga una meta, el desempeño total está determinado por su restricción más débil. La imagen clásica es la de una cadena. Su resistencia está dada por el eslabón más débil, no por el promedio de todos los eslabones. Da igual cuánto se refuerce el resto: si el eslabón débil no mejora, la cadena no aguanta más.

Aplicado a un sistema productivo, el principio dice que optimizar todos los procesos por igual es un error. Hay que identificar cuál es el “cuello de botella” real del sistema y concentrar el esfuerzo ahí. Todo lo demás tiene que subordinarse a que ese punto específico funcione sin fallar.

La restricción en el abastecimiento de materiales en edificios residenciales de gran escala.

Llevado al problema del abastecimiento de materiales, el principio se traduce directamente. La restricción del sistema es el material cuya ausencia paraliza el avance de la obra. En el proyecto de referencia, durante la etapa de tabiquería, ese material es el cemento.

Su falta detiene simultáneamente a las cuatro cuadrillas de contratistas que trabajan en tabiquería y contrapisos. Ninguna mejora en la gestión de otros materiales como artefactos sanitarios, accesorios, herramientas compensa una semana sin cemento.

Identificar la restricción es el primer paso de un proceso que la TOC estructura en cinco etapas.

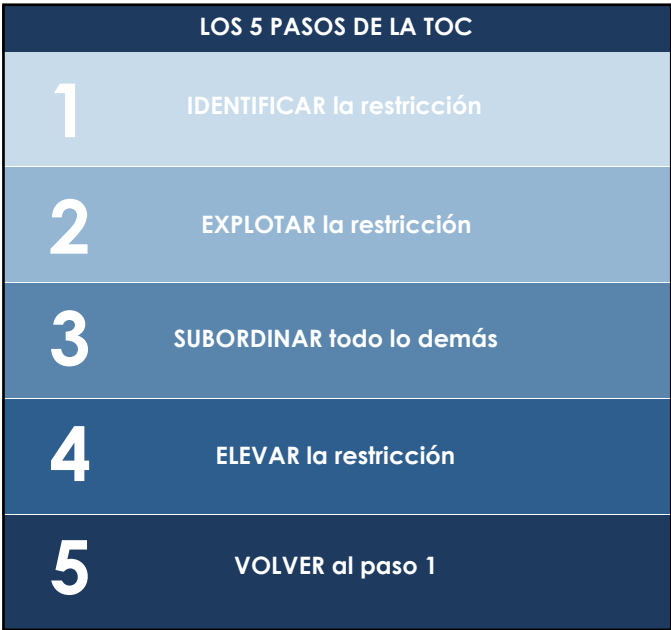


Figura 2.5. Los cinco pasos de la Teoría de las Restricciones. Fuente: elaboración propia con base en Goldratt y Cox (1984).

Los cinco pasos de mejora de la TOC.

Primer paso: identificar la restricción. ¿Cuál es el material o el proceso cuya falla detiene todo lo demás? En el Panoramic la respuesta es el cemento, como se mencionó.

Segundo paso: explotar la restricción. Esto significa sacarle el máximo al recurso restringido, asegurándose de que funcione en sus mejores condiciones. Traducido al inventario, significa calcular con precisión cuánto stock se necesita del material crítico y cómo se garantiza que nunca baje de ese nivel.

Tercer paso: subordinar el resto del sistema a la restricción. Los demás procesos deben adaptarse para no entorpecer al material crítico. En términos de inventario, esto quiere decir que ningún otro pedido ni ninguna otra decisión puede poner en riesgo el abastecimiento del cemento.

Cuarto paso: elevar la restricción. Si los pasos anteriores no alcanzan, hay que invertir en mejorar la capacidad del sistema en ese punto: buscar un proveedor alternativo, firmar un contrato de entrega programada, o cualquier otra acción estructural.

Quinto paso: repetir. Cuando la restricción original se resuelve, otra aparece en un lugar distinto del sistema. Siempre hay un eslabón más débil que los demás; el proceso de mejora continua consiste en identificarlo y volver al paso uno.

De la intuición al cálculo.

El aporte con mejor adaptación directamente aplicable de la TOC al problema del Panoramic y de proyectos de características similares está en los buffers de inventario. El concepto de buffer no es invento de Goldratt, existía antes, pero la TOC lo formalizó como herramienta de gestión con un método de cálculo replicable.

El sistema actual del Edificio Panoramic tiene un buffer intuitivo. El almacenero sabe por experiencia que cuando quedan alrededor de 200 bolsas hay que pedir. Ese número nunca fue calculado; se acumuló mediante experiencia empírica con los años. Funciona razonablemente bien cuando el proveedor cumple, el consumo es estable y todo es previsible, pero colapsa cuando aparece cualquier variación.

La TOC propone reemplazar esa intuición con un cálculo basado en tres variables que pueden medirse: el consumo real del material, el tiempo de reposición del proveedor, y la variabilidad histórica de ese proveedor (cuántas veces falló y por cuánto tiempo). Con los datos registrados en abril de 2026 por el almacenero del Panoramic, el cálculo arroja el siguiente resultado:

Cálculo del buffer para bolsas de cemento – datos reales Panoramic.

$$\text{Consumo diario de bolsas de cemento} = \frac{\text{consumo semanal}}{\text{días de trabajo en una semana}} = \frac{320 [u]}{5.5 [\text{días}]} \approx 59[u]$$

Días de reposición proveedor = Fancesa: 4 días (mejor escenario), app 7 días cuando falla

$$\text{Factor de variabilidad} = 3 \text{ fallos en los últimos } 10 \text{ pedidos} = \frac{3[\text{días}]}{10[\text{días}]} = 0.3$$

$$\text{Buffer} = \text{consumo diario} \times \text{días de reposición} \times (1 + \text{factor de variabilidad})$$

$$\text{Buffer} = 59[u] \times 4[u] \times 1.30$$

$$\text{Buffer} \approx 307 [\text{unidades}]$$

$$\text{Punto de reorden} = 307 + 59 (\text{consumo del día de pedido}) = 366[\text{unidades}]$$

Los tres tipos de Buffer.

La TOC clasifica los buffers en tres categorías según qué protegen.

El **buffer de inventario** es el stock mínimo físico calculado que debe mantenerse en todo momento. Se materializa en la obra como una marca visible en el almacén: una línea pintada, una tarjeta, un cono señalizador. Cuando el stock llega a esa marca, el pedido se activa ese mismo día. Para el cemento del Panoramic, son 366 bolsas.

El **buffer de tiempo** es el margen de anticipación con que se hace el pedido respecto a la fecha de uso real del material. Si el proveedor normalmente tarda cuatro días pero ha tardado hasta siete, el pedido debería hacerse con siete días de anticipación. En el caso del proyecto Panoramic, la restricción operativa de pedir solo los viernes complica este buffer: si la detección ocurre el lunes, ya se perdieron cuatro días del margen de anticipación antes de que el pedido salga.

El **buffer de capacidad** es la existencia de un proveedor alternativo que pueda activarse si la principal falla. No es stock adicional, sino capacidad de respuesta. En el proyecto de referencia este es el buffer más débil de los tres: no existe hoy un proveedor alternativo viable, porque Cementos Fancesa ofrece un precio significativamente mejor que la competencia y cambiar en el corto plazo no es realista. Esto significa que el buffer de inventario tiene que compensar la debilidad del buffer de capacidad.

El punto de reorden como señal física

La aplicación del buffer en obra no requiere ningún sistema informático. Como se mencionó previamente, en su forma más simple, y quizás la más recomendable para contextos donde los registros digitales no son confiables, consiste en una marca visible que haga objetivo lo que antes era subjetivo. Una línea pintada en la pared del almacén al nivel de 366 bolsas. Una tarjeta detrás del último pallet que al verse activa el pedido. Un cono señalizador en el piso. El soporte es lo de menos; lo que importa es que la decisión de pedir deje de depender de quién esté mirando el almacén ese día.

Es la versión simplificada del Kanban del TPS, adaptada al inventario de obra. El almacenero queda como operador del sistema, pero con una regla objetiva que le dice cuándo actuar.



Figura 2.6. Imagen referencial punto de reorden (señal Kanban). Fuente: elaboración propia

Evidencia empírica en Latinoamérica

Luis Fernando Alarcón, investigador de la Pontificia Universidad Católica de Chile y uno de los referentes del Lean Construction en la región, documentó en su libro de 1997 reducciones de entre el 15 y el 40 por ciento en días de interrupción por falta de material en obras chilenas que implementaron buffers calculados, comparadas con obras gestionadas de manera informal. Lo interesante del estudio es que el factor determinante no resultó ser la sofisticación del sistema: obras con sistemas simples pero aplicados con consistencia superaban a obras con sistemas más elaborados aplicados de manera irregular.

Leach (2000) reportó resultados similares en construcción industrial en Estados Unidos, con reducciones de hasta un 30 por ciento en retrasos asociados al abastecimiento tras implementar los principios de la TOC.

Estos datos no garantizan que el sistema funcione igual en todos los contextos. Pero sí indican que, cuando se aplica con disciplina, el buffer calculado mejora el desempeño con números que se pueden comprobar. Esa es la evidencia sobre la que se apoya la propuesta del Subtema 3.

2.4 SÍNTESIS: LAS DOS METODOLOGÍAS ELEGIDAS Y SU COMPLEMENTARIEDAD

Del análisis de las tres herramientas estudiadas en los apartados anteriores y de otros sistemas y filosofías existentes en el mundo como el Kaizen, emerge una decisión clara sobre cuáles se van a aplicar en la propuesta del Subtema 3. Esta investigación selecciona dos metodologías: el No-Inventario y los Buffers de Inventario de la Teoría de las Restricciones. El TPS queda fuera como sistema completo, pero dentro como marco conceptual. Conviene explicar por qué.

El TPS como punto de origen, no como sistema transplantable

El Toyota Production System aporta los principios que hacen inteligibles todas las herramientas estudiadas: el pull en lugar del push, la señal de demanda como criterio de abastecimiento, la eliminación del desperdicio como objetivo central. Sin esos principios, ni el No-Inventario ni los buffers de la TOC tienen fundamento lógico. El TPS explica por qué funcionan.

Lo que no se puede trasladar es el sistema completo. El TPS presupone condiciones, procesos estandarizados, tiempos de ciclo predecibles, demanda relativamente estable que una obra de edificación no puede garantizar. Intentar aplicarlo tal cual, como señalan Bertelsen y Koskela (2002), es el error más frecuente del Lean Construction mal entendido.

Esta investigación toma del TPS el marco conceptual y herramientas específicas adaptadas, como el Kanban simplificado, pero no pretende implementar el sistema en su totalidad.

No-Inventario y Buffer: extremos complementarios

Las otras dos metodologías estudiadas no son competidoras: se complementan. Cada una ataca el problema del inventario desde un extremo distinto.

El No-Inventario trabaja bien cuando el proveedor es confiable. Si el material llega exactamente cuando se necesita, el stock almacenado puede ser mínimo o nulo; el almacén deja de ser un repositorio especulativo y se convierte en un punto de paso. Esto alivia directamente la restricción del espacio físico en obras donde el almacén es pequeño, que es, precisamente, el escenario del Edificio Panoramic.

El Buffer de inventario calculado trabaja bien cuando el proveedor es variable. No asume que va a cumplir: asume que puede fallar, y calcula cuánto stock mantener para absorber esa variabilidad sin detener la obra. Es la herramienta adecuada para los materiales de Categoría B en el lenguaje que se usará en el Subtema 3.

Una obra residencial de gran escala nunca está compuesta por un único tipo de proveedor.

Hay materiales con proveedores organizados y confiables, como el concreto premezclado o el acero estructural procesado, y hay materiales con proveedores únicos y variables, como el cemento de cementos Fancesa según lo observado en el proyecto de referencia.

Ninguna de las dos metodologías, aplicada sola, cubre el espectro completo. Juntas sí lo hacen.

Criterios de la selección

La decisión de quedarse con estas dos herramientas no es solo conceptual. Responde a cuatro criterios prácticos.

Atacan directamente el inventario. Otras herramientas del Lean Construction, como el Last Planner System, son valiosas pero trabajan a nivel de planificación general del proyecto. Esta investigación se concentra en el problema específico del inventario, y las dos metodologías seleccionadas se ocupan exactamente de eso.

No requieren transformación estructural de la empresa. Ni el No-Inventario ni el buffer calculado exigen cambiar de proveedores, implementar tecnología nueva ni reorganizar la empresa. El buffer se calcula con datos que el almacén ya tiene; el No-Inventario se negocia con los proveedores actuales. Pueden implementarse desde el primer día.

Son adaptables al contexto local. La variabilidad de los proveedores locales hace inviable el No-Inventario puro, pero lo hace perfectamente viable cuando se complementa con el buffer para los materiales más problemáticos. No exige un nivel de desarrollo logístico que el mercado local todavía no tiene.

Son consistentes con los recursos disponibles en obra. El sistema que se propone en el Subtema 3 depende de datos, disciplina y criterio, no de software especializado. Esa elección deliberada es lo que hace que la propuesta sea replicable en cualquier obra residencial boliviana de características similares.

La propuesta del Subtema 3 parte de esta síntesis: No-Inventario para los materiales de Categoría A (proveedor confiable), Buffer calculado para los materiales de Categoría B (proveedor variable), y gestión bajo demanda simple para los materiales de Categoría C (secundarios, sin impacto crítico). Esta clasificación ABC, y el protocolo que se deriva de ella, son el contenido principal del capítulo siguiente.

SUBTEMA 3 — DISEÑO ÓPTIMO DE IMPLEMENTACIÓN PARA OBRAS RESIDENCIALES DE GRAN ENVERGADURA

Los dos subtemas anteriores hicieron el diagnóstico y revisaron lo que la literatura ofrece. Este último capítulo es propositivo: describe el protocolo concreto, paso a paso, que una obra residencial de gran escala puede aplicar para reemplazar la gestión intuitiva del inventario por una metodología técnica.

El protocolo está pensado para funcionar sin software especializado, sin reformas estructurales en la empresa constructora y sin depender de proveedores que todavía no existen en el mercado local. Usa los datos que cualquier almacén razonablemente ordenado ya produce, y se apoya en dos herramientas físicas: una marca visible en la pared y una planilla semanal impresa. Nada más sofisticado que eso.

El Edificio Panoramic sigue apareciendo en este capítulo, pero ya no como el caso que hay que resolver si no como el ejemplo numérico que permite ilustrar los cálculos con datos reales.

La propuesta está formulada para ser aplicable a cualquier obra de características similares: edificio residencial multifamiliar, con almacén de capacidad limitada, equipo técnico propio en obra, y proveedores de confiabilidad variable. Este perfil constituye la realidad operativa de la gran mayoría de los proyectos de edificación vertical que se ejecutan actualmente en los principales entornos urbanos de alta densidad.

3.1 CLASIFICACIÓN DE MATERIALES: CATEGORÍAS A, B Y C

El primer paso del protocolo no es calcular nada ni pedir nada. Es clasificar. Antes de implementar estrategias de pedido o almacenamiento, es necesario segmentar el inventario. Tratar el suministro como una masa homogénea, donde se dedica el mismo esfuerzo de control a un insumo menor que a uno estructural, es una de las causas principales del desorden logístico analizado en el diagnóstico; esa dispersión de recursos administrativos termina por desatender lo verdaderamente urgente.

Esta propuesta adopta la lógica de la Teoría de las Restricciones (TOC) para concentrar el esfuerzo de la gestión exclusivamente en aquellos elementos que actúan como cuellos de botella potenciales. La premisa es clara: el control debe dirigirse hacia lo que tiene la capacidad real de paralizar el frente de trabajo. Para poner en práctica esta prioridad, se establecen tres categorías (A, B y C), cuya asignación no es arbitraria, sino que depende de la criticidad operativa del material y su impacto directo en la continuidad de la ruta crítica del proyecto.

Categoría A — Materiales críticos con proveedor confiable.

Son materiales cuya ausencia detiene uno o varios frentes de trabajo, pero cuyo proveedor tiene un historial sostenido de cumplimiento. Entregan en fecha, entregan completo, y cuando no pueden hacerlo avisan con antelación.

Ejemplos típicos en una obra residencial: el concreto premezclado, el acero estructural procesado por fábrica, los bloques de construcción de proveedores industriales.

Para esta categoría se propone el sistema de No-Inventario. El material no se acumula en obra: se recibe cuando se necesita, en la cantidad que se necesita, directamente en el punto de uso cuando es posible. **El proveedor asume la función de almacenamiento.**

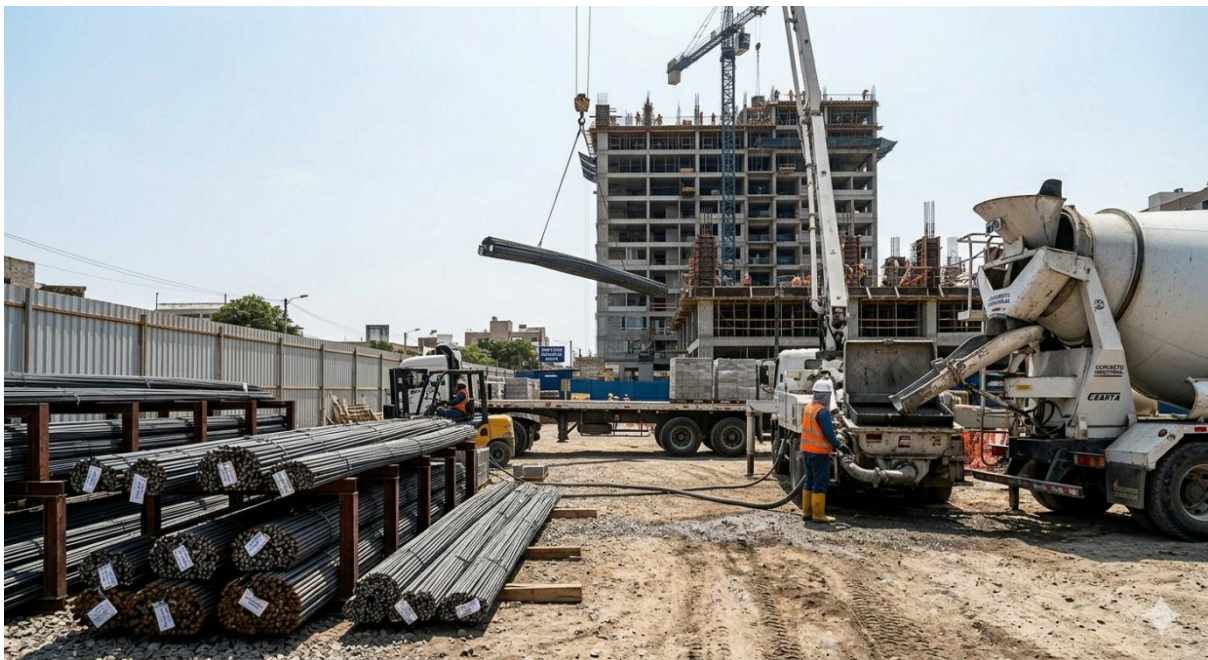


Figura 3.1. Imagen representación materiales categoría A. Fuente: Elaboración propia.

Categoría B — Materiales críticos con proveedor variable

Son materiales igualmente críticos para el avance, pero cuyo proveedor ha fallado en el pasado sin aviso previo, o no tiene alternativa comercial realista. Aquí entra el cemento del Panoramic, junto con muchos otros materiales que dependen de un único proveedor local: estuco, cal, mortero adhesivo, instalaciones sanitarias y eléctricas, etc.

Para esta categoría se propone el sistema de buffer calculado. No se elimina el stock: se dimensiona con precisión para absorber la variabilidad del proveedor sin detener la obra.

El buffer no compensa la falta de gestión: compensa la incertidumbre real del abastecimiento.

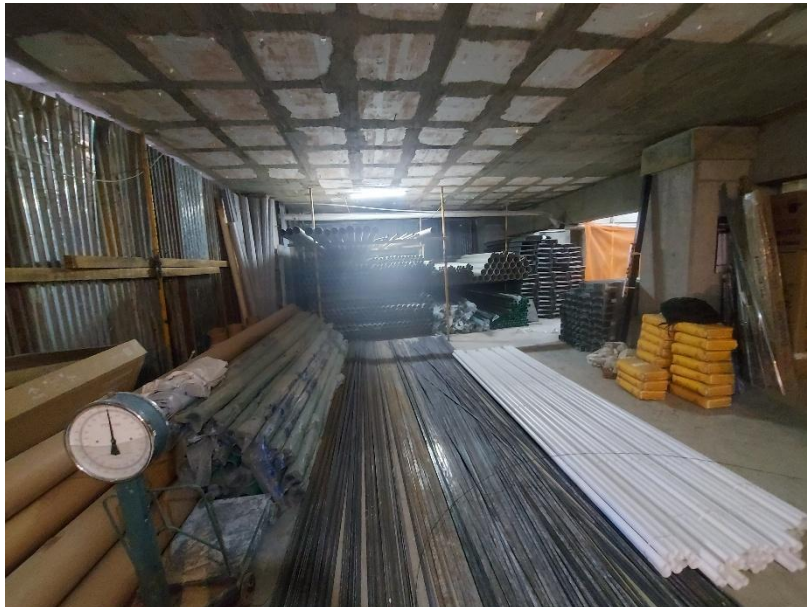


Figura 3.2 Estado actual del almacén del Edificio Panoramic. Fuente: registro fotográfico propio, abril 2026.

Categoría C — Materiales no críticos

Son materiales cuya ausencia no paraliza ningún frente de trabajo, aunque pueda generar incomodidades menores o retrasos puntuales. Se compran por volumen, rotan lento, y su impacto en el cronograma es marginal. Ejemplos: herramientas de mano, elementos de seguridad, accesorios menores, insumos de limpieza, fijaciones.

Para esta categoría no hace falta ningún sistema especial. Basta con una gestión tradicional por stock mínimo, sin cálculo sofisticado. El esfuerzo de gestión se reserva para los materiales A y B, que son los que realmente importan.

Cómo se clasifica cada material

La asignación de categoría no es una decisión de una vez para siempre: se revisa al inicio de cada etapa mayor de la obra. Un material puede ser A en estructura y C en terminaciones, o viceversa. El fierro, por ejemplo, es crítico durante la obra gruesa y se vuelve secundario una vez que la estructura está completa.

El criterio de decisión tiene dos preguntas directas: ¿la falta de este material detiene algún frente de trabajo activo? Y si la respuesta es sí, ¿el proveedor ha cumplido consistentemente en los últimos diez pedidos?

Con esas dos preguntas, cada material cae en una de las tres categorías sin ambigüedad. La tabla siguiente muestra ejemplos típicos para las etapas más comunes de una obra residencial de gran escala.

ETAPA	MATERIAL	CATEGORÍA	METODOLOGÍA
ESTRUCTURA	Concreto premezclado	A	No-Inventario
	Acero estructural procesado	A	No-Inventario
	Aditivoc para hormigón	B	Buffer calculado
	Malla electrosoldada	B	Buffer calculado
	Encofrado y accesorios	C	Stock mínimo posible
TABIQUERÍA	Ladrillos	a	No-Inventario
	Cemento en bolsa	B	Buffer calculado
	Estuco y mortero adhesivo	B	Buffer calculado
	Cal	B	Buffer calculado
	Yeso	B	Buffer calculado
TERMINACIONES	Fijaciones y accesorios	C	Stock mínimo posible
	Cerámica comercial	A	No-Inventario
	Porcelanato estándar	A	No-Inventario
	Tuberías PVC	B	Buffer calculado
	Cableado	B	Buffer calculado
	Marcos	B	Buffer calculado
	Pintura, Herramientas, EPP	C	Stock mínimo posible

Tabla 3.1. Clasificación ABC de materiales según criticidad y confiabilidad del proveedor. Fuente: elaboración propia.

3.2 CÁLCULO DEL BUFFER PARA MATERIALES CATEGORÍA B

El buffer es el stock mínimo calculado técnicamente para un material de Categoría B. Se calcula una vez al inicio de cada etapa, se materializa como una marca física en el almacén, y se respeta sin excepciones. La fórmula es simple, usa tres datos que cualquier almacén ordenado ya produce, y puede resolverse en una hoja de cálculo o incluso a mano.

La fórmula

Buffer = Consumo diario × Tiempo de reposición × (1 + Factor de variabilidad)

Cada uno de los tres factores se determina con datos de la propia obra.

Consumo diario. Es el promedio de unidades consumidas por día hábil, medido durante al menos dos semanas de trabajo normal. No se estima: se cuenta. Para el cemento en el Panoramic, con 320 bolsas semanales y 5.5 días hábiles, el consumo diario es de 59 bolsas.

Tiempo de reposición. Es el número de días que el proveedor tarda, medido sobre los últimos cinco pedidos reales. No se pregunta al proveedor: se mide. Para Cementos Fancesa, el tiempo registrado es de 4 días en condiciones normales, con episodios de hasta 7 días cuando hay problemas.

Factor de variabilidad. Es la proporción de pedidos que fallaron en los últimos diez. Si fallaron tres de diez, el factor es 0,30. Este número representa, en términos simples, cuánto stock adicional hace falta para cubrir la inconsistencia del proveedor. Un proveedor perfecto tiene factor 0; un proveedor que falla en la mitad de los pedidos tiene factor 0,50.

Como se vio anteriormente en el subtema 2.3, para el caso específico del proyecto Panoramic, el resultado del cálculo del buffer para cemento (Material categoría B) era de 307 bolsas de cemento, el resultado indicaba que el punto de reorden era de 366 bolsas.

El buffer indica cuánto stock mantener. El punto de reorden indica cuándo hacer el pedido. La diferencia importa: el punto de reorden es siempre un poco más alto que el buffer, porque el almacén sigue consumiendo material durante el día en que el pedido se realiza.

A este cálculo según corresponda se le debe agregar otra variable importante. La restricción del día de pedido.

Qué pasa con la restricción del día de pedido

En muchas obras, incluido el Panoramic, existe una restricción administrativa de la empresa o del proveedor que limita los pedidos a ciertos días de la semana. Esta restricción rompe la lógica del buffer. Si el punto de reorden se alcanza un martes y el pedido solo puede hacerse el viernes, el almacén queda tres días consumiendo material sin haber activado la reposición.

Hay dos formas de resolverlo.

La primera es eliminar la restricción: permitir que los pedidos de materiales Categoría B se hagan cualquier día de la semana.

La segunda, si la primera no es posible por razones administrativas, es incorporar la espera al cálculo: sumar los días de demora administrativa al tiempo de reposición.

Si se respeta la restricción del viernes, el tiempo efectivo de reposición pasa a ser hasta 4 días normales + 4 días de espera administrativa = 8 días.

Buffer ajustado: $59 \times 8 \times 1,30 = 614$ bolsas.

Punto de reorden ajustado: $614 \text{ bolsas} + 59 = 673$ bolsas.

Ese número es más que el consumo semanal completo. Lo que muestra el cálculo ajustado es que la restricción del día de pedido duplica el stock necesario. Si el almacén no tiene capacidad para 673 bolsas, la restricción no es compatible con el sistema: hay que eliminarla.

Un cálculo, no muchos

El cálculo se hace una vez al inicio de cada etapa. No hace falta recalcularlo cada semana. Lo que sí hace falta es revisar el factor de variabilidad cada mes: si el proveedor empieza a fallar más, el factor sube y el buffer se agranda; si empieza a cumplir mejor, el factor baja y el buffer se achica. El registro del almacén alimenta la revisión.

3.3 SISTEMA DE NO-INVENTARIO PARA MATERIALES CATEGORÍA A

Para los materiales A el objetivo es directo: que no haya stock. El material llega a la obra el día que se necesita, en la cantidad que se necesita, y se usa sin pasar por una etapa de acumulación intermedia.

Esto no es teórico. El concreto premezclado ya funciona así en todas las obras: se pide para el día del vaciado y llega en ese momento, directamente al punto de uso, sin almacenamiento previo. Lo que propone el No-Inventario es extender esa lógica a más materiales de la obra.

El protocolo en cinco pasos

Paso 1: identificar proveedores elegibles. Un proveedor es elegible para No-Inventario si ha cumplido en al menos nueve de los últimos diez pedidos, entregando en fecha y completo. La certificación no es formal: es operativa, basada en el registro del propio almacén.

Paso 2: construir el cronograma de entregas. A partir del cronograma de obra, se arma un calendario específico de entregas por material. Para cada etapa que requiere un material de Categoría A, se define la fecha de entrega necesaria y la cantidad. Este calendario se actualiza semanalmente según el avance real.

Paso 3: comunicar con antelación. El cronograma de entregas se entrega al proveedor con un mínimo de tres semanas de antelación. Ballard y Howell (1994) demostraron que tres semanas es el horizonte operativo que la mayoría de los proveedores puede absorber sin perder flexibilidad. Menos de tres semanas no alcanza; más de cinco abre margen para que el cronograma cambie antes de la entrega.

Paso 4: formalizar el acuerdo. El acuerdo con el proveedor puede ser tan simple como una orden de compra con cronograma adjunto. No requiere contrato legal complejo. Lo importante es que ambas partes tengan registro escrito de las fechas y cantidades comprometidas.

Paso 5: confirmar 72 horas antes. Setenta y dos horas antes de cada entrega, se confirma telefónicamente o por escrito. Esta confirmación no es un trámite: es el mecanismo que permite activar el plan B si el proveedor anuncia que no puede cumplir. Sin confirmación anticipada, la falla se descubre el día de la entrega, cuando ya es tarde.

Materiales típicos aplicables

En una obra residencial de gran escala, los materiales que se prestan mejor al No-Inventario son aquellos con proveedores industriales organizados: concreto premezclado, bloques de construcción de fábrica, ductos prefabricados, elementos metálicos estandarizados, cerámicos y porcelanatos de líneas comerciales.

Para cada uno de estos materiales, el almacén deja de ser un punto de acumulación y se vuelve un punto de paso: lo que llega, se despacha al frente de trabajo el mismo día o al siguiente.

Qué no se puede forzar

El No-Inventario no se aplica a todos los materiales por decreto. Aplicarlo a un material cuyo proveedor es variable equivale a condenarse al desabastecimiento. El cemento en el Panoramic es el ejemplo canónico: cualquier intento de funcionar sin buffer con ese proveedor termina en paralización de obra. La clasificación ABC del apartado 3.1 es lo que protege al sistema de esos errores: define de antemano qué materiales pueden funcionar en modo No-Inventario y cuáles no.

3.4 EL CRONOGRAMA DE OBRA COMO HERRAMIENTA LOGÍSTICA

Hasta acá, el protocolo descansa sobre dos elementos: una marca física en el almacén (para materiales B) y un calendario de entregas acordado con el proveedor (para materiales A). Falta un tercer elemento que conecta todo: el cronograma de obra. Y es tal vez el más importante, porque es el que transforma el sistema reactivo en un sistema anticipatorio.

El diagnóstico: el cronograma no se consulta

Una de las observaciones más claras de los ocho meses en el Panoramic fue que el cronograma de obra, cuando existía, no se usaba para planificar el abastecimiento. El especialista hacía su planilla de pedidos mirando el consumo reciente y el stock disponible, no mirando qué actividades iban a ejecutarse en las próximas semanas. Esa desconexión es lo que hace que el sistema sea reactivo.

Esto no es exclusivo del Panoramic. Es un patrón general en obras residenciales de gran escala, el cronograma existe como instrumento de control de avance, pero no como instrumento logístico. Los pedidos siguen respondiendo al almacén, no al cronograma.

La planilla semanal de pedidos anticipados

La herramienta concreta que el protocolo propone es una planilla simple, que se revisa cada lunes por la mañana y cubre las próximas cuatro semanas de obra. La planilla tiene una fila por cada actividad planificada que consume material crítico, y las siguientes columnas: actividad prevista, fecha de ejecución, material requerido, cantidad estimada, categoría ABC, días de anticipación del pedido, fecha límite para hacer el pedido, estado.

El responsable de armarla puede ser el arquitecto residente, el director de obra o el maestro de obra, según la estructura del equipo. El tiempo que lleva, una vez instaurada la rutina, es de veinte a treinta minutos por semana. Es la inversión mínima que el sistema requiere para pasar de reactivo a anticipatorio.

Cómo se usa

Cada lunes, con la planilla actualizada, se revisa lo siguiente:

¿Qué materiales de Categoría A tienen entregas programadas en las próximas tres semanas? Confirmar con los proveedores.

¿Qué materiales de Categoría B se acercan a su punto de reorden? Activar el pedido si corresponde.

¿Hay cambios en el cronograma de obra que modifiquen las fechas de necesidad? Reajustar entregas.

La planilla no reemplaza al cronograma de obra: lo traduce a lenguaje logístico. Lo que en el cronograma es "colado del piso 12, semana del 15 de abril", en la planilla es "cemento, 220 bolsas, entrega antes del 14 de abril, pedido antes del 10 de abril".

Lookahead simplificado

Esta herramienta es una versión simplificada del lookahead del Last Planner System desarrollado por Ballard (2000). El Last Planner es un sistema completo de planificación colaborativa que trabaja sobre todas las restricciones del proyecto; lo que se propone acá es solo su componente logístico, adaptado a una obra que no tiene (ni necesita) implementar el sistema completo.

La diferencia práctica: el Last Planner requiere reuniones semanales de coordinación con todos los contratistas; la planilla propuesta requiere solo la revisión interna del equipo técnico de la constructora. Es un escalón menos ambicioso, pero más realista para el contexto de obras donde la gestión de contratistas es menos estructurada.

3.5 PROTOCOLO DE IMPLEMENTACIÓN POR FASES

Un cambio de metodología en una obra en curso no se implementa de golpe. Si se intenta cambiar todo a la vez, el equipo se satura, los proveedores se confunden y el sistema nuevo falla antes de estar consolidado. El protocolo que se propone se implementa en cuatro fases progresivas, pensadas para que cada elemento tenga tiempo de incorporarse antes de sumar el siguiente.

Fase 1 - Diagnóstico (semanas 1 y 2)

En las dos primeras semanas no se cambia nada del sistema actual. Se mide y se clasifica. Esta fase es puramente de observación: el equipo aprende a registrar los datos que el sistema nuevo va a necesitar, sin presión de aplicarlos todavía.

Las actividades concretas de esta fase son tres: aplicar el VSM al material más crítico de la etapa actual (cemento si es tabiquería, fierro si es estructura, etc.), clasificar todos los materiales en curso según las categorías A, B y C, y calcular los buffers para los materiales B con los datos que ya existen en el almacén.

Al terminar la Fase 1, el equipo tiene un mapa claro del estado actual y los números que necesita para la Fase 2. Nada más.

Fase 2 - Activar los buffers (semanas 3 y 4)

En la Fase 2 se instala el elemento más visible del sistema: las marcas físicas en el almacén que definen el punto de reorden de cada material Categoría B. Para el cemento del Panoramic, es la línea pintada al nivel de 366 bolsas. Para los demás materiales B, las marcas correspondientes.

Esta fase incluye también la capacitación del almacenero. La lógica del sistema nuevo es distinta a la intuitiva, la señal ya no es "me queda poco", sino "el stock llegó a la marca". El almacenero tiene que entender que respetar la marca es la única regla importante: no anticiparla (porque genera sobrestock) y no posponerla (porque genera desabastecimiento). La capacitación no es compleja; consiste básicamente en mostrarle el cálculo y explicarle por qué ese número y no otro.

Al terminar la Fase 2, el sistema de buffers está operativo, aunque el No-Inventario todavía no.

Fase 3 - Activar el No-Inventario (semanas 5 a 8)

A partir de la quinta semana se incorpora el sistema de No-Inventario para los materiales de Categoría A. Esta fase es la que requiere más coordinación externa, porque implica hablar con proveedores y formalizar acuerdos.

Las actividades concretas son: comunicar a los proveedores elegibles el cronograma de entregas por material, negociar y firmar los acuerdos correspondientes, y poner en marcha la planilla semanal de pedidos anticipados. La primera semana de operación del sistema siempre tiene fricción: el proveedor no está acostumbrado, el equipo olvida confirmar a 72 horas, el cronograma cambia y nadie avisa. Es normal, lo importante es registrar cada fricción para resolverla en la revisión semanal.

Al terminar la Fase 3, el sistema completo está operativo: buffers para B, No-Inventario para A, planilla semanal integrando ambos.

Fase 4 - Refinamiento continuo (ongoing)

La última fase no tiene fecha de cierre: es el funcionamiento en régimen. Cada mes se revisan los factores de variabilidad de los proveedores, se ajustan los buffers si hace falta, se reevalúan las categorías ABC según cambie la etapa de obra, y se registran los problemas que aparecen para incorporarlos al protocolo.

Esta lógica de ajuste continuo es lo que Toyota llama Kaizen: la mejora que no termina nunca, que no busca una perfección final sino un refinamiento constante a partir de lo que la operación diaria va enseñando. Es la fase donde el sistema deja de ser una implementación y se vuelve cultura operativa.

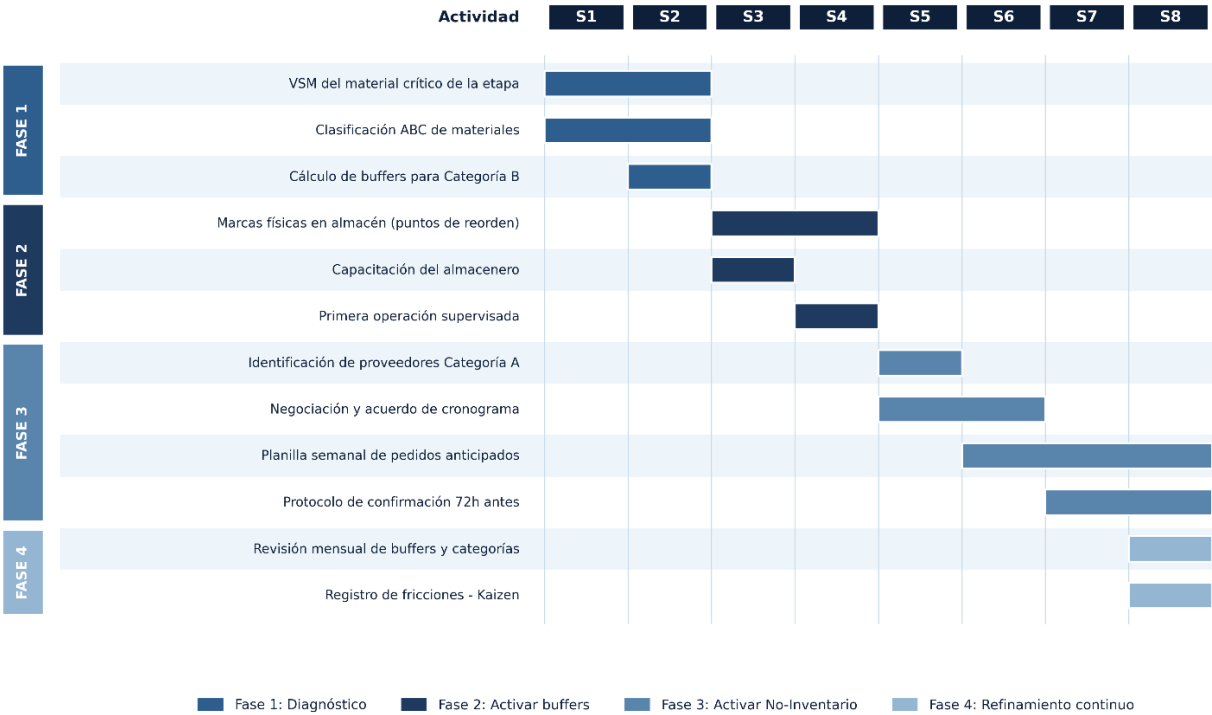


Figura 3.3. Cronograma del protocolo de implementación en cuatro fases. Fuente: elaboración propia.

Indicadores de rendimiento propuestos

Para que el refinamiento mensual no sea un trámite vacío, el sistema necesita dos indicadores concretos que se midan cada mes con los datos que el almacén ya produce.

El primer indicador son los **días de interrupción por falta de material por semana**. Es el dato más directo y el que la obra siente: cuántas jornadas se pierden por desabastecimiento, contadas frente por frente. El objetivo razonable es cero. Si el sistema está bien calibrado, este indicador debería bajar mes a mes hasta estabilizarse en valores muy cercanos a cero. Si sube, es señal de que algún buffer quedó subdimensionado o de que la confiabilidad del proveedor empeoró y el factor de variabilidad necesita actualizarse.

El segundo indicador es la **precisión del buffer**. Se mide observando dos extremos: cuántas veces el stock se acercó peligrosamente al cero (señal de buffer corto), y cuántos días el almacén pasó con sobrestock por encima del punto de reorden recalculado (señal de buffer largo). Un buffer bien calibrado mantiene el almacén oscilando entre el punto de reorden y la capacidad útil, sin llegar a ninguno de los dos extremos. La revisión mensual del buffer ajusta los parámetros para mantener esa oscilación dentro de la franja útil.

Estos dos indicadores se anotan en la misma planilla semanal del apartado 3.4. No requieren registros adicionales ni software. Son la diferencia entre un sistema que funciona el primer mes y se degrada después, y un sistema que se mantiene funcionando porque alguien revisa los números antes de que el problema vuelva.

CIERRE

Ocho meses en obra alcanzaron para entender una cosa: el problema del cemento del Panoramic no era el cemento. Era la ausencia de un criterio. El almacenero hacía lo que sabía hacer, el director de obra autorizaba los pedidos cuando se le avisaba, el proveedor cumplía cuando podía. Cada uno operaba bien dentro de sus límites. Lo que faltaba era un sistema que articulara esas decisiones con anticipación al cronograma, en lugar de reaccionar al desabastecimiento cuando ya era tarde.

El protocolo descrito en estos cinco apartados es, deliberadamente, simple. Dos herramientas físicas (marcas en el almacén, planilla impresa), una clasificación de tres categorías, una fórmula de cálculo de tres variables, cinco pasos para los proveedores, cuatro fases de implementación. Nada que requiera software. Nada que requiera reformas. Nada que una obra residencial de gran escala no pueda incorporar en dos meses de trabajo.

Lo que requiere, eso sí, es disciplina. La disciplina de registrar datos que hoy no se registran, de respetar marcas físicas cuando la intuición dice otra cosa, de revisar una planilla todas las semanas, aunque no haya crisis. Esa disciplina es lo que convierte un buen diseño en un sistema que funciona.

El Edificio Panoramic es un caso entre muchos. El patrón que describe, y que este protocolo busca resolver, se repite en la mayoría de las obras residenciales de gran escala que operan en un contexto similar. El diseño que se propone acá no es la respuesta definitiva al problema del inventario en construcción; es una respuesta mínima, viable, y demostrablemente mejor que la gestión intuitiva que hoy predomina en el rubro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, L. F. (Ed.). (1997). *Lean construction*. A. A. Balkema.
- Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of production control* [Tesis doctoral, University of Birmingham]. School of Civil Engineering.
- Ballard, G., & Howell, G. (1994). Implementing lean construction: Stabilizing work flow. En L. Alarcón (Ed.), *Lean construction* (pp. 101–110). A. A. Balkema.
- Bertelsen, S., & Koskela, L. (2002). Managing the three aspects of production in construction. *Proceedings of the 10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Gramado, Brasil.
- Goldratt, E. M., & Cox, J. (1984). *The goal: A process of ongoing improvement*. North River Press.
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2004). To pull or not to pull: What is the question? *Manufacturing & Service Operations Management*, 6(2), 133–148.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction* (Technical Report No. 72). Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University.
- Leach, L. P. (2000). *Critical chain project management*. Artech House.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill.
- Magretta, J. (1998). The power of virtual integration: An interview with Dell Computer's Michael Dell. *Harvard Business Review*, 76(2), 73–84.
- Martins, J. (2026). *Kanban: significado, principios y aplicación*. Asana Resources.
- Monden, Y. (2012). *Toyota Production System: An integrated approach to just-in-time* (4ª ed.). CRC Press.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond large-scale production*. Productivity Press.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. Simon & Schuster.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world: The story of lean production*. Rawson Associates.

A N E X O S

Anexo A. Entrevista al almacenero del Edificio Panoramic

Fecha de la entrevista: 10 de abril de 2026. Lugar: oficina técnica del Edificio Panoramic, Tauro Construcciones S.A. La transcripción que sigue presenta las preguntas formuladas y las respuestas registradas durante la conversación, con ediciones menores de claridad. Esta entrevista es la fuente primaria de los datos de consumo, capacidad, tiempo de reposición y variabilidad del proveedor utilizados en el cálculo del buffer del apartado 2.3.

Bloque 1. Demanda y consumo de cemento

1. ¿Cuántas bolsas de cemento entran a obra por semana en una semana de trabajo normal (no urgente)?

320 bolsas por semana en condiciones normales de trabajo.

2. ¿En qué actividades se usa más cemento?

Contrapisos, tabiquería y fachada exterior.

3. ¿Hay semanas donde el consumo es mucho mayor? ¿Por qué? ¿Con qué frecuencia?

Sí, principalmente la primera semana de la quincena cuando hay más contratistas trabajando. La semana de la quincena el consumo se proyecta menos.

4. ¿Cuántas bolsas de cemento caben en el almacén cerrado sin que estorben el trabajo?

560 bolsas sin que estorben.

5. ¿Hoy mismo, cuántas bolsas hay en almacén?

Al 10 de abril de 2026: 370 bolsas.

6. ¿En cuántos días se consume lo que hay hoy en almacén, a ritmo normal?

Aproximadamente 8 días de trabajo.

Bloque 2. Proveedor y tiempos de reposición

7. ¿Cuánto tarda el proveedor de cemento desde que se hace el pedido hasta que llega el material a obra?

4 días.

8. ¿Ese tiempo es siempre igual o varía? ¿Cuándo tarda más? ¿Por qué?

Hay variaciones. Por problemas mecánicos del proveedor el pedido ha tardado hasta una semana. Por problemas sociales, dos o tres días adicionales.

9. En los últimos diez pedidos, ¿cuántas veces llegó tarde o con cantidad menor a la pedida?

Tres llegadas tardías, ninguna con cantidad menor a la pedida.

10. ¿El proveedor avisa con anticipación cuando no puede cumplir, o simplemente no llega?

No aparece, sin explicaciones.

11. ¿Hay un solo proveedor de cemento o varios? ¿Se podría llamar a otro si la principal falla?

Un proveedor (Cementos Fancesa) ofrece un precio significativamente mejor que el resto. No existe posibilidad realista de llamar a otro proveedor en el corto plazo.

Bloque 3. Proceso de pedido y detección

14. ¿Cómo se da cuenta alguien de que hay que pedir cemento? ¿Quién se da cuenta primero?

El almacenero, mediante un rango mínimo visual de aproximadamente 200 bolsas. Los fachadistas consumen 100 bolsas con mucha rapidez.

15. ¿Cuánto tiempo pasa típicamente desde que se nota que queda poco hasta que se hace el pedido?

Inmediato. Una vez detectado, el almacenero habla con el director de obra.

16. ¿Quién toma la decisión de hacer el pedido?

El Ing. Diego Garrón (director de obra), mediante cálculo y cómputo del uso del material.

17. ¿A qué hora del día se suelen hacer los pedidos? ¿Tiene influencia en el tiempo de entrega?

Solo los viernes, hasta las 18:00 horas.

Bloque 4. Episodios críticos y otros materiales

19. ¿Ha pasado que se quedaron sin cemento antes de que llegara el pedido? ¿Cuántas veces en los últimos tres meses?

Sí. La primera semana de marzo de 2026 la obra se quedó sin cemento. Frenó el avance por completo del 1 al 6 de marzo; el cemento llegó el 7. En otra ocasión cercana, el material tenía que llegar el martes y llegó el jueves: el almacén tenía 20 bolsas de reserva. No fue tan crítico como el caso anterior, pero igualmente al límite.

21. ¿Cuánto tiempo toma recibir y verificar una entrega de cemento en obra?

Comienzo a las 5:00 y termino a las 7:40 con descarga al almacén. También llega a las 21:00 y demora aproximadamente lo mismo en quedar guardado.

22. ¿Cuánto tiempo permanece el cemento en almacén antes de ser llevado al frente de trabajo?

Aproximadamente un día. Si la entrega es a las 21:00 (fuera de jornada laboral) recién se distribuye al día siguiente. En el caso de la entrega de las 5:00, la distribución a los frentes puede comenzar pocas horas después.

25. ¿Cuántos días de obra se perdieron por falta de cemento durante los meses de tu participación?

Aproximadamente diez días completos.

26. ¿Hubo otros materiales que también generaron paros o retrasos? ¿Cuáles?

Material de plomería: aproximadamente un mes (ramal de 100x75, T de 75x50 con reducción excéntrica 75x50). Material eléctrico: dos semanas sin escalerillas para instalación eléctrica.

28. ¿Se hacían pedidos “de pánico” (pedir de más por miedo a quedarse sin)? ¿Con qué materiales?

Sí, con fierro, durante la etapa de estructura.

30. ¿El cronograma de obra se usaba para planificar los pedidos, o eran decisiones independientes?

Parcialmente. Si bien el ingeniero presenta el cronograma, no siempre se le puede hacer caso porque el avance real no siempre se ajusta al ritmo previsto.

Anexo B. Documentación del almacén del Edificio Panoramic

Documentos proporcionados por el almacenero del Edificio Panoramic en abril de 2026. Estos registros respaldan empíricamente los datos utilizados en el diagnóstico del Subtema 1 y en el cálculo del buffer del apartado 2.3.

		NOTA DE PEDIDO		N° P00156	
		ALMACÉN			
OBRA:		EDIFICIO PANORAMIC		FECHA: 6/mar/2026	
CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ESTADO	SALDO POR ENTREGAR
10,00	BOLSA	SIKA GROUT 214	PEDIDO RP-24	COMPLETO	
20,00	BOLSA	SIKA TOP 122 X 27 KG		FALTA	12,00
10,00	KILO	SIKA COLMA FIX 32		DEMÁS	10,00
1680,00	BOLSA	CEMENTO IP 30		FALTA	1120,00
4800,00	UNIDAD	RAMPLU PLASTICO Ø 10 MM		COMPLETO	
4800,00	UNIDAD	TIRAFORNDO 5/16		COMPLETO	
40,00	BARRA	PLATINO DE 3/4" E = 1/8		COMPLETO	
160,00	BARRA	PLATINO DE 3/4 E = 2MM		COMPLETO	
50,00	UNIDAD	COBERTOR PARA TUBERIA Ø ½"		COMPLETO	
50,00	UNIDAD	COBERTOR PARA TUBERIA Ø ¾"		COMPLETO	
1000,00	UNIDAD	CODO NORMAL 90° Ø 25 MM FUSION FUSION		DEMÁS	1016,00
12,00	UNIDAD	ESCOBA		FALTA	12,00

Figura B.1. Nota de pedido N° P00156 del 6 de marzo de 2026, durante el episodio crítico de seis días sin cemento. La fila correspondiente al cemento IP 30 (1.680 bolsas) registra un saldo por entregar de 1.120 bolsas, en estado FALTA. Fuente: archivo del almacén, Tauro Construcciones S.A.

N° REGISTRO	N° INGRESO	FECHA INGRESO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	N° PEDID	ORIGEN O PROCEDENCIA	TRANSPORTE	NOTA DE ENTREGA
20	2	13/may/2025	CEMENTO IP 30	BOLSA	10,00	6	FERNANDO QUISPIT-10		7
230	50	31/may/2025	CEMENTO IP 30	BOLSA	10,00	6	FERNANDO QUISPIT-10		7
612	144	9/jul/2025	CEMENTO IP 30	BOLSA	20,00	41	FERNANDO QUISPIT-10		39
900	211	4/ago/2025	CEMENTO IP 30	BOLSA	560,00	80	FANCESA	3116-AIF	708990
1246	304	11/sep/2025	CEMENTO IP 30	BOLSA	560,00	108	FANCESA		713242
1599	386	13/nov/2025	CEMENTO IP 30	BOLSA	30,00	S/P	PARQUEOS DOMIN 4017-CLY		
1606	390	18/nov/2025	CEMENTO IP 30	BOLSA	10,00	S/P	PARQUEOS DOMIN 4017-CLY		S/N
1623	395	18/nov/2025	CEMENTO IP 30	BOLSA	540,00	131	FANCESA	3608-LCL	720289
1674	418	2/dic/2025	CEMENTO IP 30	BOLSAS	560,00	137	FANCESA	2307-BGD	721755
1864	502	18/ene/2025	CEMENTO IP 30	BOLSA	560,00	145	FAN CESA	3116-AIF	725131
2041	553	19/feb/2026	CEMENTO IP 30	BOLSA	560,00	145	FANCESA	2323-BYL	727892
2120	600	7/mar/2026	CEMENTO IP 30	BOLSA	560,00	149	FANCESA		49747
2121	601	12/mar/2026	CEMENTO IP 30	BOLSA	560,00	149	FANCESA		729462
2238	653	30/mar/2026	CEMENTO IP 30	BOLSA	560,00	156	FANCESA	3116-AIF	731329

Figura B.2. Registro de ingresos de cemento entre mayo de 2025 y marzo de 2026. Las entradas regulares de 560 bolsas provienen de Cementos Fancesa (proveedor habitual); las entradas de menor volumen (10 a 30 bolsas) corresponden a compras de urgencia a distribuidores alternativos durante episodios de desabastecimiento. Fuente: archivo del almacén, Tauro Construcciones S.A.

El registro confirma el patrón irregular de abastecimiento: las entradas se concentran en algunos meses y se espacian en otros, con compras puntuales a proveedores alternativos cuando Fancesa no cumple. Estas compras de urgencia respaldan empíricamente la sección 1.6 sobre el sobrecosto de compra fuera del proveedor habitual.