

Universidad Rural de Guatemala

MANUAL DE LABORATORIO DE INGENIERÍA DE PLANTAS INDUSTRIALES



Sexto Semestre, 2026.

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES

DÍA	HORARIO	ACTIVIDAD
Lunes	08:00-12:00	Práctica 1: Localización industrial
Martes	08:00-12:00	Práctica 2: Edificios industriales
Miércoles	08:00-12:00	Práctica 3: Distribución industrial
Jueves	08:00-12:00	Práctica 4: Diagramación del proceso operativo
La evaluación virtual estará habilitada del 28 de octubre de 2026 a las 8:00 al 30 de octubre de 2026 a las 18:00. Para obtener el punteo correspondiente y aprobar el curso, es obligatorio asistir a las prácticas presenciales y completar esta evaluación en línea dentro del período establecido.		

MATERIAL NECESARIO PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS

Cada estudiante deberá traer los siguientes materiales según corresponda en la práctica:

No.	Reactivos y Material
1	Hojas en blanco Lapiceros Calculadora Computadora Acceso a Internet Cinta métrica
2	Hojas en blanco Lapiceros Regla Computadora Cinta métrica
3	Hojas en blanco Lapiceros Calculadora Regla Computadora Acceso a Internet Cinta métrica
4	Hojas en blanco Lapiceros Regla Computadora Instalar diagrams.net o alguna otra aplicación para hacer diagramas de flujo

INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LAS PRÁCTICAS

Para la realización adecuada de las prácticas deberán atenderse las siguientes indicaciones:

1. Presentarse puntualmente a la hora del inicio del laboratorio y permanecer durante la duración de este.
2. Realizar las actividades y hojas de trabajo planteadas durante la práctica.
3. Participación y cuidado de cada uno de los integrantes del grupo en todo momento de la práctica.
4. Conocer la teoría, (leer el manual antes de presentarse a cada práctica).
5. **No se permite el uso de teléfono celular dentro del laboratorio**, Si tiene llamadas laborales deberá atender las mismas únicamente en el horario de receso.
6. Si sale del salón de clases sin la autorización del docente perderá el valor de la práctica.
7. No puede atender visitas durante la realización de la práctica.
8. El horario de receso es únicamente de 15 minutos.
9. **Respeto dentro del laboratorio hacia los catedráticos o compañeros (as).**

La falta a cualquiera de los incisos anteriores será motivo de una inasistencia.

Considere que se prohíbe terminantemente comer, beber y fumar. Éstos también serán motivos para ser retirado de la práctica.

Recuerde que para tener derecho al punteo y aprobar el curso deberá presentarse a las prácticas y realizar las evaluaciones en línea, las cuales estarán habilitadas del **28 de octubre 2026 a las 8:00 al 30 de octubre 2026 a las 18:00.**

INFORME DE PRÁCTICA

Las secciones de las cuales consta un informe, el punteo de cada una y el orden en el cual deben aparecer son las siguientes:

- a) Resultados
- b) Resumen de la práctica
- c) Conclusiones

Si se encuentran dos informes parcial o totalmente parecidos se anularán automáticamente dichos reportes.

- a. **Resultados:** es la sección en la que se presentan de manera clara y objetiva los datos obtenidos a partir de la práctica realizada.
- b. **Resumen de la práctica:** esta sección corresponde al contenido del informe, aquello que se ha encargado realizar según las condiciones del laboratorio.
- c. **Conclusiones:** constituyen la parte más importante del informe. Son las decisiones tomadas, respuestas a interrogantes o soluciones propuestas a las actividades planteadas durante la práctica.

Detalles físicos del informe

- El informe debe presentarse en hojas de papel bond **tamaño carta**.
- Cada sección descrita anteriormente, debe estar debidamente identificada y en el orden establecido.
- Todas las partes del informe deben estar escritas a mano con letra clara y legible, a menos que se indique lo contrario.
- Se deben utilizar ambos lados de la hoja.
- No debe traer folder ni gancho, simplemente engrapado.

Importante:

Los informes se entregarán al día siguiente de la realización de la práctica al entrar al laboratorio sin excepciones. Todos los implementos que se utilizarán en la práctica se tengan listos antes de entrar al laboratorio pues el tiempo es muy limitado. Todos los trabajos y reportes se deben de entregar en la semana de laboratorio no se aceptará que se entregue una semana después.

PRÁCTICA NO. 1

LOCALIZACIÓN INDUSTRIAL

1. Propósito de la práctica:

- 1.1. Identificar la importancia que tiene la localización de la región más idónea para instalar la fábrica que albergará el proceso industrial.
- 1.2. Conocer y aplicar los diversos métodos de localización industrial.
- 1.3. Desarrollar el criterio e interpretación de los diversos métodos de localización industrial.

2. Marco Teórico:

Localización industrial: se define como el análisis de los factores de localización para determinar la ubicación óptima de una empresa industrial. Consta de la evaluación de las diversas variables que intervienen en el éxito de una empresa de carácter industrial. Por ende, el objetivo es concluir cuál es el sitio más preciso para establecer una entidad de estas características. La selección de una ubicación para una planta, centro de distribución, local, etc., debe evaluarse en función de algunos factores esenciales:

- ✦ **Infraestructura:** la importancia de la infraestructura es vital, ya que determina, en el caso de transporte, los costos unitarios de adquisición y expedición de productos, y los costos de organización y servicio, en el caso de infraestructura de comunicaciones. Por ello, es necesario evaluar las necesidades de la empresa en estos rubros con el fin de cuantificar el impacto de la infraestructura disponible.
- ✦ **Recursos naturales:** de la disponibilidad de recursos dependen en gran medida los costos de abastecimiento, no sólo los que consume la empresa en cuestión, sino también los que consumen sus proveedores.
- ✦ **Impuestos y servicios:** es de suma importancia integrar el impacto de impuestos al capital, operación y aranceles en los que se incurre al operar en una región específica, además del costo actual y a largo plazo de los servicios necesarios.
- ✦ **Recursos humanos:** un país o región será un mejor candidato si cuenta con abundancia de mano de obra barata y capacitada; sobre todo si se trata de empresas de manufactura. En términos generales, es necesario integrar al proceso de selección los costos relacionados con la productividad de la mano de obra. En el caso de organizaciones enfocadas al desarrollo y la investigación, la ventaja podría existir al ubicarse próximos a fuentes de talentos, como son las universidades.
- ✦ **Condiciones de la demanda:** la cercanía de los mercados de consumos no sólo implica la posible disminución del costo de distribución, sino, como es el caso de los servicios, la oportunidad de mantener o aumentar el número de clientes.
- ✦ **Condiciones de los proveedores:** en ocasiones, el hecho de ubicarse cerca de un proveedor de clase mundial implica una ventaja competitiva, que debe ser cuantificada.
- ✦ **Condiciones de la competencia:** ubicarse cerca de la competencia significa una ventaja competitiva, ya que se puede echar mano de las mismas fuentes de recursos materiales, humanos, tecnológicos o de información. También puede buscarse un lugar sin competencia, para aprovechar mercados desatendidos.
- ✦ **Históricos:** se deben tener en cuenta las ventajas generadas históricamente en algunas regiones con respecto a ramas industriales específicas. Dichas ventajas se reflejan en el prestigio que tiene cierto producto

o servicio proveniente de una región, así como en el fomento brindado por la sociedad y el gobierno para el desarrollo de cierta actividad productiva ya arraigada en la zona.

- ✦ **Normatividad:** es necesario considerar la legislación local que pueda restringir o fomentar las operaciones de la empresa. Actualmente es necesario revisar con detalle las legislaciones ambientales, que pueden generar incrementos en los costos esperados de instalación y operación.
- ✦ **Condiciones macroeconómicas:** el análisis del tipo de cambio, tasas de interés y la balanza comercial de un país o región son algunos parámetros que proporcionan una ventaja competitiva ante la posible ubicación. El tipo de cambio puede variar en forma impredecible, por lo que es importante considerar su impacto en las utilidades de la empresa.
- ✦ **Cultura:** las ventajas y desventajas que surgen al ubicarse en una sociedad con diferente idioma y cultura representan costos en términos del proceso de adaptación organizacional. Las características sociales de una región influyen en la organización y sus prácticas gerenciales. En el peor de los casos se puede tomar la decisión de ubicarse en una región en la que la sociedad manifieste una actitud adversa a ese tipo de empresas.

Una vez que la administración se compromete con una localización específica, muchos costos bien afianzados resultan difíciles de reducir. Por ejemplo, si la localización de una fábrica está en una región con altos costos de energía, incluso una buena administración con una estrategia de energía sobresaliente comienza con una desventaja. La administración se encontrará en una situación parecida con su estrategia de recursos humanos si en la localización seleccionada la mano de obra es cara, está mal capacitada o tiene poca ética laboral. En consecuencia, realizar un trabajo duro para determinar la localización óptima de las instalaciones es una buena inversión.

Métodos para evaluar las alternativas de localización: se utilizan tres métodos principales para resolver los problemas de localización: método de ponderación de factores, análisis costo-volumen de la localización y método del centro de gravedad.

Método de ponderación de factores: es el método más sencillo y flexible que ayuda en la toma de decisiones sobre cuál es la mejor alternativa de localización. En éste se construye una estructura jerárquica de factores, que responde a los objetivos planteados en el problema de localización. Después, se valora cada una de las posibles ubicaciones con respecto a esta estructura para conocer la idónea. Es posible considerar factores de cualquier índole, tanto cuantitativos como cualitativos, aunque estos últimos tendrán que expresarse en una escala numérica que permita medir las valoraciones subjetivas sobre dichos factores. El procedimiento para llevar a cabo esta metodología es el siguiente:

1. Se selecciona una lista de los factores que se consideran importantes para la decisión de localización, estos pueden variar drásticamente según la naturaleza de la instalación que se desea ubicar.
2. Se establece una estructura jerárquica de dichos factores a través de una ponderación que refleje la importancia relativa de cada uno, considerando que se está distribuyendo una ponderación total de 1 o de 100%.
3. Se establece una escala de calificación a su conveniencia, que permita hacer el mínimo de valoraciones necesarias para cada factor. Un ejemplo sería, de 0 a 3 cuando las valoraciones son pocas, como bueno, regular, malo y no aplica; o de 0 a 100 para permitir valoraciones más detalladas.

4. Para cada una de las ubicaciones, se necesita obtener una calificación correspondiente a cada uno de los factores. Dichas calificaciones pueden ser el resultado de análisis cuantitativos o de valoraciones subjetivas de expertos.
5. La calificación ponderada para cada ubicación se determina sumando el producto de cada ponderación por la calificación obtenida en dicho factor.
6. El resultado consiste en recomendar localizar la nueva instalación en la o las ubicaciones con mayor calificación ponderada.

Un problema importante con este método es que no toma en cuenta la amplia variedad de costos posibles en cada factor. Por ejemplo, quizás haya una diferencia de unos cuantos miles de quetzales entre la mejor y la peor ubicación en un factor, y varios cientos de quetzales entre la mejor y la peor ubicación en otro factor. Es probable que el primer factor tenga la mayor cantidad de puntos pero que no sea de gran ayuda al decidir sobre la ubicación; y tal vez el segundo tenga pocos puntos, pero muestre una diferencia real en el valor de las ubicaciones. Para manejar este problema se sugiere la derivación de los puntos posibles para cada factor mediante una escala de ponderación con base en las desviaciones estándar de los costos en lugar de usar solo las cantidades de los costos. De esta manera se consideran los costos relativos.

Ejemplo del método de ponderación de factores. Se comparan dos países, Francia y Dinamarca.

FACTOR CLAVE PARA EL ÉXITO	PESO	CALIFICACIONES (HASTA 100)		CALIFICACIONES PONDERADAS	
		FRANCIA	DINAMARCA	FRANCIA	DINAMARCA
Disponibilidad de mano de obra y actitud	0.25	70	60	$(0.25)(70) = 17.5$	$(0.25)(60) = 15.0$
Relación de personas sobre automóviles	0.05	50	60	$(0.05)(50) = 2.5$	$(0.05)(60) = 3.0$
Ingreso per cápita	0.10	85	80	$(0.10)(85) = 8.5$	$(0.10)(80) = 8.0$
Estructura fiscal	0.39	75	70	$(0.39)(75) = 29.3$	$(0.39)(70) = 27.3$
Educación y salud	0.21	60	70	$(0.21)(60) = 12.6$	$(0.21)(70) = 14.7$
Totales	1.00			70.4	68.0

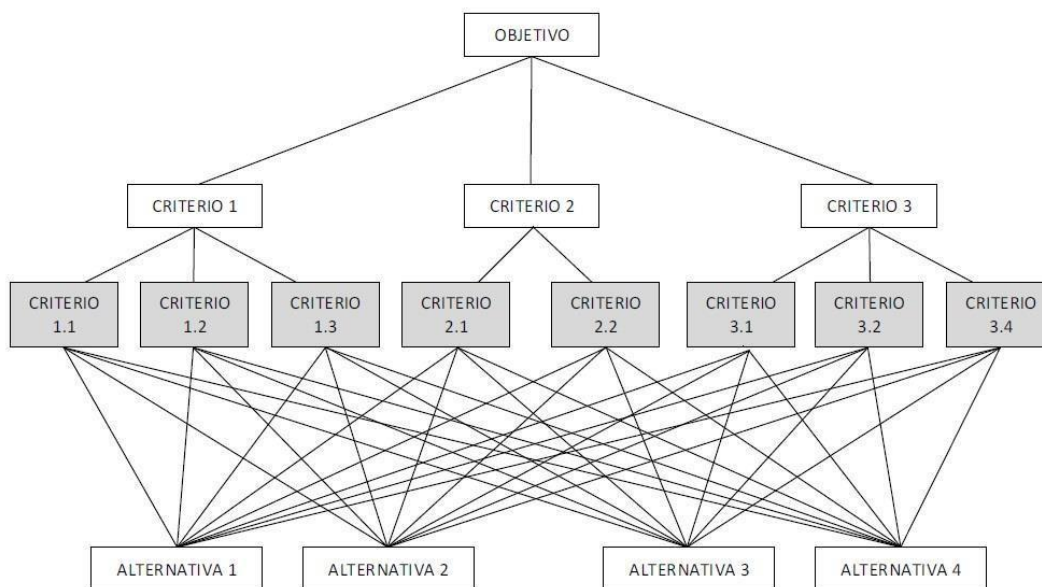
Otro ejemplo. Se tienen las alternativas A, B y C como alternativas.

EMBOTELLADORA DE REFRESCOS

FACTOR RELEVANTE	PESO	A ESCALA	VALOR	B ESCALA	VALOR	C ESCALA	VALOR
Mano de obra	0.05	8	0.40	8	0.40	8	0.40
Valor terreno	0.14	3	0.42	4	0.56	7	0.98
Mercado	0.08	6	0.48	6	0.48	6	0.48
Energía	0.11	6	0.66	5	0.55	8	0.88
Agua	0.16	3	0.48	3	0.48	4	0.64
Accesos	0.11	7	0.77	8	0.88	3	0.33
Seguridad	0.14	3	0.42	3	0.42	2	0.28
Construcción	0.12	6	0.72	5	0.60	4	0.48
Insumos	0.09	8	0.72	8	0.72	6	0.72
TOTAL	1.00		5.07		5.09		5.19

Los usos de la metodología de ponderación de factores se extienden más allá de la localización industrial, puede utilizarse para tomar decisiones de cualquier índole. Se recomienda su uso cuando las ubicaciones varían drásticamente unas con otras en al menos uno de los factores, distintos al costo.

Método AHP: también llamado proceso de jerarquía analítica, este es un método similar a la ponderación de factores. Para aplicarlo, se seleccionan alternativas en función de una serie de criterios o variables, normalmente jerarquizados, los cuales suelen entrar en conflicto. En esta estructura jerárquica, el objetivo final se encuentra en el nivel más elevado, y los criterios y subcriterios en los niveles inferiores. Para que el método sea eficaz, es fundamental elegir bien los criterios y subcriterios, los cuales deben estar muy bien definidos, ser relevantes e independiente entre ellos. Es importante que el número de criterios y subcriterios en cada nivel no sea superior a 7, para evitar excesivas comparaciones a pares.



Una vez definida la estructura jerárquica, se comparan los criterios de cada grupo del mismo nivel jerárquico y la comparación directa por pares de las alternativas respecto a los criterios del nivel inferior. Para ello se utilizan matrices de comparación pareadas usando una escala fundamental (ver la tabla). Esta es la clave del método, usar una escala de comparación por pares, puesto que el cerebro humano está especialmente bien diseñado para comparar dos criterios o alternativas entre sí, pero menos cuando tiene que hacer comparaciones conjuntas.

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

La comparación de las diferentes alternativas respecto al criterio del nivel inferior de la estructura jerárquica, como la comparación de los diferentes criterios de un mismo nivel jerárquico dan lugar a una matriz cuadrada denominada matriz de decisión. Se debe verificar la consistencia de las decisiones, es decir que la matriz no debe contener contradicciones en la valoración realizada. Una vez verificada la consistencia, se obtienen los pesos, que representan la importancia relativa de cada criterio o las prioridades de las diferentes alternativas respecto a un determinado criterio.

El cálculo de este método puede llegar a ser muy complejo, por lo que se recomienda utilizar algún programa o aplicación especializada. Por ejemplo, 123AHP.

Seleccionando la opción de “Calculadora”, con el icono de ábaco, la página solicita la información a evaluar.

Modelo

Ingrese en el campo todas las alternativas y criterios importantes para la toma de decisión que se desea llevar a cabo.

Usted puede agregar más alternativas y criterios, haga clic en más o menos

Tipo de modelo



Solo



Equipo



Grupo



Mi título

Selección de ubicación

Mis alternativas

Guatemala

Francia

Dinamarca



Mis criterios

Costo

Recurso humano

Proveedores

Demanda



El nuevo modelo

Siguiente

En el siguiente paso, se pide evaluar los criterios para determinar la jerarquía de las decisiones.

Solo / Selección de ubicación

Paso 2 de 6

Paso anterior

1 2 3 4 5 6 7

Siguiente paso

Los criterios de preferencias

Usa la escala para definir la importancia de criterio



Paso anterior

1 2 3 4 5 6 7
Guardar para más tarde

Siguiente paso

El siguiente paso es comparar las alternativas en cada uno de los criterios planteados.

Paso anterior

1 2 3 4 5 6 7

Siguiendo paso

Criterio Costo**Participante: [alternativa_nema_sudionika]**

Usa la escala para definir la importancia de la opción por criterio Costo, mejor en comparación con la otra alternativa. Continúa con las comparaciones.



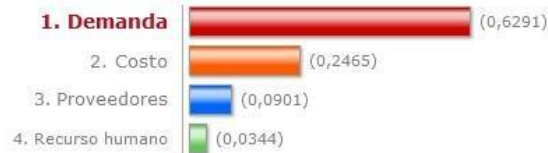
Paso anterior

1 2 3 4 5 6 7

Siguiendo paso

Guardar para más tarde

Luego de calificar todos los criterios, la página devuelve los resultados del método.

Mi decisión**Criterios de importancia****La estructura de las alternativas**

Ratio de consistencia (CR): 0,2025

Paso anterior

1 2 3 4 5 6

Guardar modelo

Beneficio en comparación con el costo

Pasos intermedios

El nuevo modelo

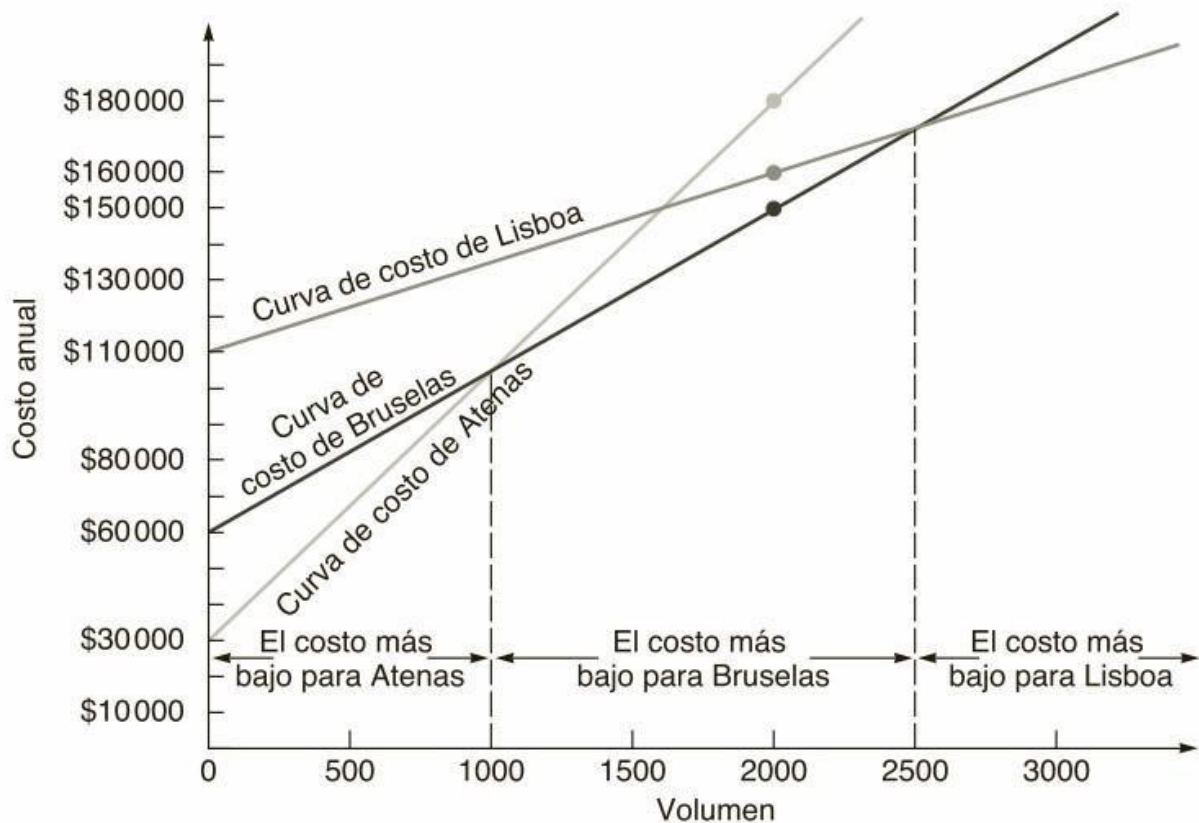
En el ejemplo realizado, la ubicación seleccionada es Guatemala, donde el criterio más importante fue la demanda. Adicional, se puede seleccionar la opción de "Beneficio en comparación con el costo" para evaluar cuantitativamente este factor.

Análisis costo-volumen: es una técnica para hacer una comparación económica de las alternativas de localización. Al identificar los costos fijos y variables y graficarlos para cada localización, podemos determinar cuál proporciona el menor costo. El análisis costo-volumen de la localización se realiza en forma gráfica o matemática. El enfoque gráfico tiene la ventaja de dar un intervalo del volumen para el que es preferible cada localización. Los tres pasos para efectuar el análisis costo-volumen de la localización son los siguientes:

- ✦ Determinar los costos fijos y variables para cada localización.
- ✦ Graficar los costos de cada localización, con los costos en el eje vertical y el volumen anual en el eje horizontal.
- ✦ Seleccionar la localización que tenga el menor costo total para el volumen de producción esperado.

A continuación, se muestra un ejemplo de la aplicación de este método.

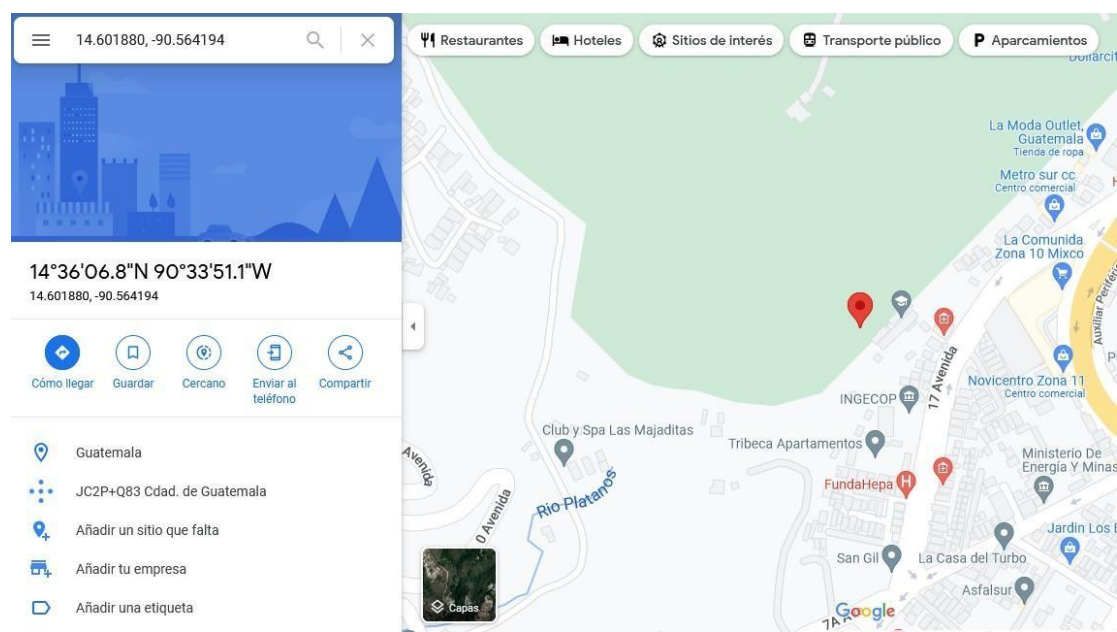
Ejemplo, se desea ubicar una nueva planta industrial, las alternativas de localización son Atenas, Bruselas y Lisboa. En la gráfica se han colocado los costos en función de los niveles de producción. La producción esperada es de 2 000 unidades.



Según este análisis, para el nivel producción esperado, la mejor ubicación es Bruselas por tener el costo más bajo, sin embargo, si la producción varía, esta dejaría de ser la opción óptima. Se debe tener presente que este análisis únicamente considera los costos, puede haber otros factores más relevantes al momento de seleccionar la ubicación. Se recomienda su uso cuando no existe mucha diferencia entre los demás factores y cuando el nivel de producción es estable.

Método del centro de gravedad: es una técnica para ubicar instalaciones que considera las instalaciones existentes, las distancias entre ellas y los volúmenes de bienes por enviar. A menudo, con esta técnica se ubican almacenes intermedios o de distribución. En su forma más sencilla, este método supone que los costos de transporte de entrada y salida son iguales y no incluye costos de envío especiales por menos que cargas completas.

El método del centro de gravedad empieza por colocar las ubicaciones existentes en un sistema de coordenadas. Por lo regular, las coordenadas se basan en las medidas de longitud y latitud debido a la rápida adopción de los sistemas GPS para trazar las ubicaciones en mapas. Esta información es de fácil acceso con sitios como *Google Maps*.



Luego, se debe determinar el elemento que se desea evaluar con el método, este puede ser el nivel de demanda, el nivel de producción o las ventas, por ejemplo. Se asigna este valor para cada uno y luego se organiza la información en una tabla.

Por último, se realiza el promedio ponderado de la latitud y longitud para determinar el centro de gravedad. Para esto, se multiplicada cada latitud por el elemento estudiado y se suma, luego se divide por el total del elemento estudiado, el mismo procedimiento se sigue para la longitud.

Ejemplo. Se está evaluando la ubicación para un centro de distribución para tres ubicaciones, utilizando *Google Maps*, se han determinado sus latitudes, longitudes y niveles de demanda relativos. Determine la ubicación según el método del centro de gravedad.

Alternativa	Latitud	Longitud	Demanda	Latitud X Demanda	Longitud X Demanda
Ubicación 1	14.638319	-90.541584	3000	43914.957	-271624.752
Ubicación 2	14.570413	-90.546590	2000	29140.826	-181093.18
Ubicación 3	14.610329	-90.456641	2500	36525.8225	-226141.603
Suma			7500	109581.606	-678859.535
Dividido el total de la demanda				14.6108807	-90.5146046

El principal problema de este método es que no consideran demasiados factores, únicamente se enfoca en encontrar un punto intermedio para poder alcanzar con relativa facilidad cada uno de los puntos determinados en el método. No considera los costos de operación, como el análisis de costo-volumen, o los demás factores cualitativos, como el método de ponderación de factores. Otro inconveniente es que la ubicación puede resultar en alguna ubicación donde no es factible la instalación (en mitad de un lago, por ejemplo).

No se debe olvidar que los métodos presentados solo son apoyos para la toma de decisiones y es responsabilidad total de la persona tomando la decisión. Tampoco se debe olvidar que el no seleccionar ninguna ubicación también es una opción.

HOJA DE TRABAJO No. 1

Caso 1. Una organización dedicada a la producción de empaque flexible está considerando expandir sus operaciones, se le solicita evaluar la posible ubicación de una planta de producción en algunos de los parques industriales en el Municipio de Mixco. Las opciones son las siguientes:

Ubicación	Latitud	Longitud	Costos de instalación	Capacidad de producción
Zona 4, Mixco	14.665963	-90.553768	1,200,000 GTQ	2,600 unidades al día
Zona 6, Mixco	14.655704	-90.597502	900,000 GTQ	3,000 unidades al día
Zona 2, Mixco	14.627376	-90.576153	1,500,000 GTQ	3,200 unidades al día

Además, se cuenta con la siguiente información, se espera una demanda estable de 2900 unidades al día para todas las ubicaciones, el precio de venta es de 1,300 GTQ por unidad, independiente del origen.

Ubicación	Costos fijos mensuales	Costos variables
Zona 4, Mixco	580,000 GTQ	750 GTQ por unidad
Zona 6, Mixco	620,000 GTQ	820 GTQ por unidad
Zona 2, Mixco	460,000 GTQ	790 GTQ por unidad

Luego de decidir la ubicación de la planta, se le solicita que considere la localización de un nuevo centro de distribución, para esto se le indica que la organización ya cuenta con 2 plantas de producción en distintas ubicaciones.

Ubicación	Latitud	Longitud	Producción
Avenida Petapa	14.580392	-90.550986	5,000 unidades al día
Zona 2, Guatemala	14.656063	-90.504161	4,000 unidades al día

La respuesta debe ser el nombre de una ubicación en general, además de una latitud y longitud.

Caso 2. Una organización dedicada a la venta de zapatos de cuero para caballero está considerando expandir sus operaciones, se le solicita evaluar la posible ubicación de una nueva tienda. Las opciones son las siguientes:

Ubicación	Latitud	Longitud	Costos de instalación	Demanda proyectada
-----------	---------	----------	-----------------------	--------------------

Panajachel	14.740847	-91.153977	250,000 GTQ	1,600 unidades al mes
Ciudad de Guatemala	14.641929	-90.514544	400,000 GTQ	2,000 unidades al mes
Escuintla	14.397956	-90.701014	350,000 GTQ	1,000 unidades al mes

Además, se cuenta con la siguiente información, se espera una demanda estable de 2900 unidades al día para todas las ubicaciones, el precio de venta promedio es de 500 GTQ por unidad, independiente del origen.

Ubicación	Costos fijos mensuales	Costos variables
Panajachel	81,000 GTQ	325 GTQ por unidad
Ciudad de Guatemala	75,000 GTQ	275 GTQ por unidad
Escuintla	89,000 GTQ	300 GTQ por unidad

Luego de decidir la ubicación de la nueva tienda, se le solicita que considere la localización ideal de un nuevo centro de distribución, para esto se le indica que la organización ya cuenta con 4 tiendas en distintas ubicaciones.

Ubicación	Latitud	Longitud	Demanda
Xela	14.846857	-91.533724	3,000 unidades al mes
Flores	16.911412	-89.895732	800 unidades al mes
Puerto Barrios	15.706297	-88.585475	1,200 unidades al mes
Salamá	15.112053	-90.303936	2,700 unidades al mes

La respuesta debe ser el nombre de una ubicación en general, además de una latitud y longitud.

PRÁCTICA NO. 2

EDIFICIOS INDUSTRIALES

1. Propósito de la práctica:

- 1.1. Conocer los fundamentos para el análisis de los edificios industriales.
- 1.2. Determinar la necesidad de mejorar las condiciones de pintura, iluminación, ventilación o ruido de la planta.
- 1.3. Utilizar herramientas digitales para el análisis de edificios industriales.

2. Marco Teórico:

Edificio industrial: se define como la infraestructura donde hay que producir, con arreglo a un determinado proceso de fabricación, en las condiciones más económicas posibles, siempre cumpliendo con las condiciones óptimas de seguridad e higiene industrial para el trabajador. El edificio industrial, es simplemente el alojamiento de los procesos de producción, del personal y de los materiales. Pueden existir varias razones por las cuales se debe evaluar un edificio industrial, por ejemplo:

1. **Instalación nueva:** regularmente ocurre por la expansión de la organización o al momento de crearse una nueva. En un proyecto nuevo hay pocas restricciones y limitantes porque no tiene que preocuparse de las instalaciones antiguas.
2. **Producto nuevo:** la organización asigna un espacio de la planta para un producto nuevo. El producto nuevo debe incorporarse al flujo del resto de la planta, y ciertos equipos en común tal vez se compartan con los productos ya existentes.
3. **Cambios en el diseño:** los cambios en el diseño del producto siempre se hacen para mejorar su costo y su calidad. La distribución podría verse afectada por dichos cambios y el diseñador de instalaciones debe revisar cada modificación del diseño.
4. **Reducción del costo:** el diseñador de las instalaciones de la planta podría encontrar una distribución mejor que produjera más unidades con menos esfuerzo de los trabajadores. Otras personas de la empresa podrían hacer sugerencias de mejoras y reducciones de costos que afecten la distribución. Todo esto debe tomarse en cuenta.
5. **Renovación:** debido a que muchas plantas antiguas tienen distribuciones deficientes, los diseñadores de instalaciones de manufactura viejas quizá pasen la mayor parte de su tiempo trabajando en hacerlas más productivas. El procedimiento para la renovación es el mismo que para una planta nueva —excepto que hay más restricciones. Entre éstas se incluyen: paredes que ya existen, fosos, techos bajos y cualesquiera otros arreglos permanentes que representen un obstáculo para el flujo eficiente de los materiales.

Clasificación de los edificios: los edificios industriales se pueden clasificar de varias maneras, entre ellas:

Según los materiales de construcción:

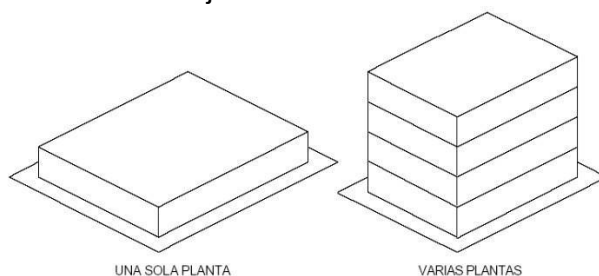
- ✦ **Primera categoría:** su estructura principal está formada por vigas y columnas rígidas de hierro armado y rellenos de hormigón los cuales transfieren sus fuerzas hacia las zapatas individuales del mismo material. Los muros tanto exteriores como interiores son de ladrillo o block, con un acabado que les provee una superficie lisa, impermeable y fácil de limpiar. Sus techos y entresijos pueden ser de losas de hormigón armado, siendo éstas últimas del tipo de concreto pretensado, las cuales se apoyan sobre las vigas y columnas del mismo material. Los pisos para el área de producción generalmente son de concreto armado y superficies alisadas. Para el área de oficinas, sus pisos pueden ser forrados con capas de cemento líquido o granito alfombrado. Estos tipos de edificios generalmente son utilizados para

colocar dentro de ellos todo lo referente al personal y equipo que forman parte de las áreas y los departamentos administrativos.

- ✦ **Segunda categoría:** en este tipo de construcciones predomina el acero estructural con una combinación de concreto armado en cantidades menores, ya que éste último servirá de apoyo a las columnas de acero ya los tabiques de relleno. La cubierta superior del edificio puede ser de lámina de zinc, de asbesto cemento, o en algunas secciones de losa de concreto armado dependiendo de la función del ambiente. Los pisos para el área de producción son de concreto armado sin pulir, su resistencia y tipo están en función del proceso de producción. Para el área de oficinas generalmente se utilizan pisos de cemento líquido o granito.
- ✦ **Tercera categoría:** la madera es el material que interviene fundamentalmente en la construcción de estos edificios. La cimentación de éstos, como la de los anteriores, es de concreto armado. La estructura principal está formada por columnas y armaduras de madera cuando los claros son grandes. Cuando los claros son pequeños se usan vigas de madera en lugar de armaduras, las cuales soportan la cubierta superior que puede ser de lámina de zinc, o asbesto y en algunos casos de lámina ondulada de cartón impermeable. Sus pisos son de hormigón rústico.

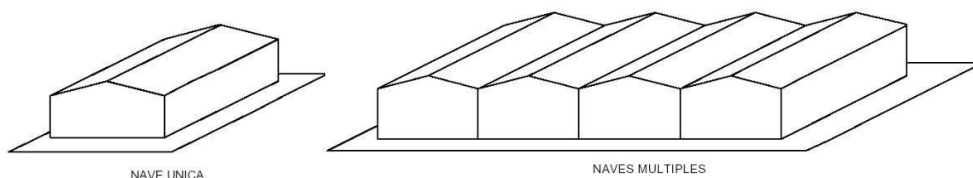
Según el número de plantas:

- ✦ **Una planta:** los edificios construidos en una sola planta se utilizan con más frecuencia que los de varias. En general el único problema que plantean es la necesidad de una mayor superficie del terreno. Pero, por otra parte, las circulaciones y la distribución se hacen de manera más natural en una sola planta que en varias.
- ✦ **Varias plantas:** los edificios industriales construidos en varias plantas deben tener una aplicación restringida. Solo son aptos para industria ligera, pero nunca para industria pesada, y solo en aquellos casos en que el proceso productivo lo exija.



Según el número de naves:

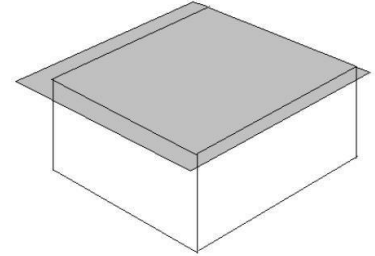
- ✦ **Una nave:** para cubrir una misma área, los edificios de nave única serán en general de coste más elevado que cuando existen naves múltiples.
- ✦ **Varias naves:** la nave única sin pilares intermedios da una mayor flexibilidad a la utilización del espacio; pero como esta ventaja tiene un coste generalmente elevado, debe utilizarse solo cuando el proceso de fabricación así lo imponga, hecho que se deriva del estudio de la implantación.



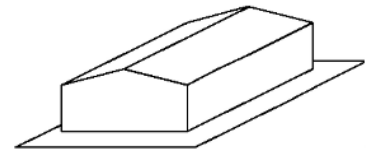
Techos industriales: el techo es un componente de la cubierta, cuya función principal es cerrar el edificio en su parte superior. Por su ubicación, las cubiertas o techos son el elemento de la obra que se encuentra más expuesto a los agentes climáticos, tales como lluvia, viento, radiación solar y cambios térmicos. Debe ser lo suficientemente fuerte para soportar el peso de las personas, cuando necesite alguna reparación. La vida útil dependerá de los materiales y de su resistencia al envejecimiento y a la oxidación.

Tipos de techos industriales: estos se clasifican principalmente según la forma que tengan, en general, se fabrican con materiales metálicos con algún tipo de aislamiento.

Techo plano o un agua: se caracteriza por tener un leve ángulo de inclinación para que pueda correr el agua de la lluvia. Estos techos proporcionan espacio adicional y facilitan las ampliaciones verticales de las edificaciones. Las coberturas planas con vertientes de escasa o nula inclinación proporcionan una buena luminosidad, el viento las impacta en escasa medida, pero en contra partida evacuan mal la lluvia y la nieve, y no se adaptan adecuadamente a climas lluviosos o en los que la nieve es un accidente usual.

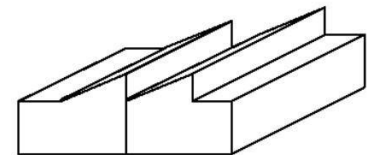


Techo a dos aguas: son utilizados en regiones en donde son frecuentes la lluvia, la nieve y el granizo. Con la forma de estos techos, dichos elementos de la naturaleza al depositarse en sus altas superficies no causan daños estructurales y se obtiene como resultado que los materiales duren un poco más. Las cubiertas planas a dos vertientes asimétricas proporcionan una buena iluminación y permiten la evacuación de la lluvia y la nieve de una manera más sencilla. Como inconveniente hay que señalar que, como consecuencia de su

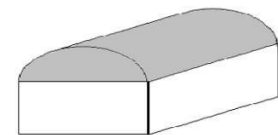


asimetría, la altura de las armaduras es elevada, por lo que resultan costosas, y además en su vertiente dotada de mayor pendiente ofrecen una mayor superficie de exposición al viento.

Techo con dientes de sierra: Es utilizado para fines de iluminación y ventilación. Se caracterizan por poseer un techo inclinado en ángulos que varían entre los 50 y los 150 (orientados en sentido este-oeste y con presentación del techo hacia la posición del sol –norte para el hemisferio sur).



Techo curvo: Son más comunes en climas cálidos secos. El área superficial curva es considerablemente mayor que el de la base, recibe menos calor solar por área unitaria, disminuyendo más la temperatura en la superficie. Las coberturas semicirculares, proporcionan una elevada iluminación, permiten una buena evacuación de la lluvia y la



nieve, suponen un costo bajo de instalación, no se ven excesivamente afectadas por los vientos y su empleo obliga generalmente a la utilización de estructuras metálicas.

Ventilación: ventilar significa cambiar, renovar, extraer el aire del interior de un local y reemplazarlo por aire nuevo del exterior a fin de evitar su enrarecimiento. Logrando con esto eliminar el calor, el polvo, el vapor, los olores y cuanto elemento perjudicial o contaminante contenga el aire ambiental encerrado dentro del ambiente. De no llevarse a cabo esta renovación, la respiración de los seres vivos que se encuentran dentro del edificio industrial (área de trabajo) se haría dificultosa y molesta, siendo un obstáculo para que se lleven a cabo normalmente las actividades y tareas correspondientes.

La ventilación de edificios industriales, o cualquier otro local que se encuentre sometido a la contaminación contribuirá a un mejoramiento del bienestar humano y, por ende, a elevar su rendimiento y productividad. Esta puede ser natural o artificial. Siempre debe evaluarse primero la posibilidad de realizar la ventilación de las instalaciones por medio de ventilación natural para no incurrir en los costos del mantenimiento de un sistema de ventilación o acondicionamiento de aire.

Artículo 169 (Ventilación). Conforme a lo estipulado en el **Acuerdo Gubernativo Número 229-2014 (Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional)**, todo establecimiento laboral tiene la obligación de implementar un sistema de ventilación adecuado que garantice la renovación continua del aire, en estricta concordancia con la naturaleza y exigencias del perfil laboral. Asimismo, dicho sistema deberá regular y mantener las condiciones higrotérmicas en rangos óptimos, impidiendo que la temperatura alcance niveles molestos o lesivos para la salud e integridad del personal.

(Nota: Puede consultar y descargar el reglamento oficial en el siguiente enlace: <https://www.igssgt.org/wp-content/uploads/2022/04/Acuerdo-Gubernativo-229-2014-y-Reformas-Acuerdo-Gubernativo-33-2016.pdf>)

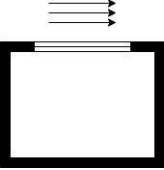
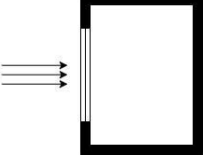
Es prioridad el implementar el funcionamiento de un sistema que permita acondicionar el aire de tal modo que regule tanto la temperatura, la ventilación y circulación del aire. Para que la ventilación sea suficiente debe ser mayor o igual a cincuenta metros cúbicos (50 m³.) por hora y por trabajador; este debe ser calculado estimando una renovación de cuatro (4) a ocho (8) veces por hora, en ambientes de oficina. La velocidad de circulación del aire para ambientes confortables debe prevalecer en veinte centímetros cúbicos (20 cm³) por segundo, pero en ambientes calurosos debe situarse entre cincuenta centímetros cúbicos (50 cm³) y un metro cúbico (1 m³) por segundo...”

Además, **en el artículo 170**, se establece que: “La renovación del aire puede hacerse mediante ventilación natural o artificial, debiendo tomarse en cuenta las consideraciones siguientes: a) Número de trabajadores. b) Naturaleza del proceso de trabajo. c) Velocidad y entrada del aire. d) Humedad del ambiente. e) Bienestar térmico de los trabajadores.”

Para evaluar los sistemas de ventilación natural en la actualidad se utilizan herramientas informáticas y simuladores, uno de ellos es **OptiVent 2.1**. Es un sitio web de uso gratuito que proporciona una herramienta de cálculo de ventilación natural en estado estacionario para la etapa inicial de diseño de edificios. Con las dimensiones de las instalaciones a ventilar, información geográfica y una primera aproximación del área de la ventilación, esta herramienta permite realizar los cálculos necesarios para evaluar si es conveniente utilizar ventilación natural o si es necesario implementar ventilación artificial. Para realizar la estimación inicial del área de ventilación se puede utilizar la expresión:

$$\text{Área} = \frac{\text{Volumen del lugar} \times \text{Renovaciones por hora}}{\text{Velocidad del viento} \times \text{Coeficiente de paso}}$$

Donde el volumen del lugar será estimado por geometría, las renovaciones por hora serán las necesarias según las condiciones de trabajo, la velocidad del viento podrá investigarse según la ubicación y el coeficiente de paso se tomará según la siguiente tabla.

Coeficiente de paso	Flujo del viento respecto al área de ventilación	Representación
0.25 a 0.35	Paralelo	
0.30 a 0.50	Perpendicular	

Una vez hecha esta estimación, se procede a ingresar la información relevante a *OptiVent* y analizar los resultados, de no ser satisfactorios, se pueden ajustar los valores de área para garantizar el cumplimiento de las renovaciones de aire según el reglamento de salud y seguridad ocupacional.

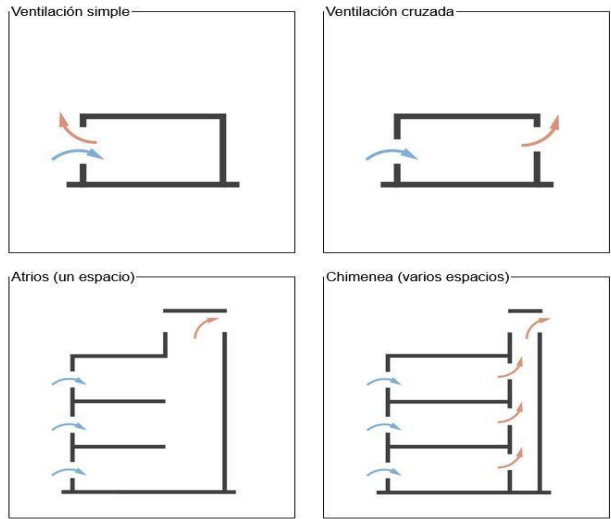
Por ejemplo, se desea evaluar la posibilidad de utilizar ventilación natural en una nave industrial de 30 m de largo, 18 m de ancho y 4 m de alto. Se encontrará ubicada en las cercanías de la ciudad capital de Guatemala y será utilizada como una empacadora de productos cosméticos que no requieren refrigeración.

Como primer paso, se realiza la estimación del área que deberá tener la ventilación natural. La velocidad del viento se obtuvo investigando el dato en sitios web de meteorología.

$$\text{Área} = \frac{(30 \text{ m} * 18 \text{ m} * 4 \text{ m}) \times 6/\text{h}}{(4000 \text{ m}/\text{h}) \times (0.35)} = 9.25 \text{ m}^2$$

Se debe tener cuidado con este resultado, dado que esta área es para la entrada o salida de aire, por tanto, el área total real que se debe tener es el doble del obtenido en el resultado anterior. Si se colocara únicamente una ventana con un área de 9.25 m² la renovación de aire será la mitad de los que se había planeado originalmente. A continuación, se optimizará este resultado con la herramienta de análisis *OptiVent*. El primer paso es identificar la manera en que se planea realizar el flujo de aire, ventilación simple, cruzada, por atrios o en chimenea.

Una herramienta de cálculo de ventilación natural en estado estacionario para la etapa inicial de diseño de edificios.



Optivent 2.0 fue diseñado para las últimas versiones de los navegadores web. No para versiones antiguas de IE.

OptiVent 2.0 es una herramienta de ventilación natural en estado estacionario desarrollado inicialmente por arquitectos y consultores en diseño medioambiental en el Reino Unido. La herramienta ha sido renovada para ampliar la gama de estrategias y apoyar decisiones respecto a la viabilidad de la ventilación natural durante la etapa inicial de diseño.

References:

- ANSI/ASHRAE (2013). Standard 55-2013, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- ASHRAE (2005). Handbook: Fundamentals - SI edition. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- CIBSE (2015). Environmental Design. Guide A, 8th Edition. Chartered Institution of Building Services Engineers, London.
- CIBSE (2005). Natural Ventilation in Non-Domestic Buildings. Applications Manual AM10. Chartered Institution of Building Services Engineers, London.
- Etheridge, D. (2011). Natural Ventilation of Buildings: Theory, Measurement and Design. Wiley.
- Ford, B., R. Schiano-Phan, E. Francis (2010). The Architecture & Engineering of Draught Cooling. PHDC Press.
- Givoni, B. (1994). Passive and Low Energy Cooling of Buildings. Van Nostrand Reinhold.

Esta herramienta ha sido desarrollada por **Juan Vallejo** y **Pablo Aparicio** , coordinada por **Brian Ford** . Agradecimientos a la Universidad de Nottingham (Reino Unido) y a la Universidad de Sevilla (España).

Los autores desean agradecer al **Camilo Diaz** el desarrollo de la versión original de Optivent en 2003, a David Etheridge por sus valiosos comentarios durante el proceso de revisión por pares, y a los estudiantes de postgrado de la University of Westminster, University of Nottingham y a la University College of London (UCL) por proporcionar información útil en la última etapa del desarrollo.

Una vez seleccionado el tipo de ventilación, se habilitarán las demás opciones para ingresar información, para el ejemplo se utilizará la ventilación cruzada. Se debe seleccionar la siguiente pestaña, localización del proyecto, donde se podrá ingresar información relevante del mismo. En este punto se ingresan algunos datos meteorológicos que deberán ser investigados según la ubicación del proyecto. Para Guatemala, se tomará una latitud de 15°, abril por ser el mes más caluroso al mediodía, temperatura exterior de 28 °C, velocidad del viento de 3.4 m/s, en datos del terreno se seleccionó “Urbano” y azimuth indica la posición del sol en relación con la ubicación de la estructura y la ventilación, se seleccionó oeste.

OPTIVENT 2.1

ENESCH

EJECUTAR

ESTRATEGIAS DE VENTILACION NATURAL

LOCALIZACION DEL PROYECTO

Localización del proyecto

Datos del proyecto

Nombre del proyecto

Ejemplo para el manual

Versión

Versión 1

Fecha

06 / 20 / 2020

Consultor

Ing. Luis Zarate

Datos de localización

Latitud (grados decimales)

15

Mes

Abril

Hora

12

Temperatura media exterior (°C)

27.0

Temperatura media predominante en el aire libre, se introdujo en la norma ASHRAE 55-2010 como variable de entrada para el modelo adaptativo. Se basa en la media aritmética de las temperaturas medias diarias del aire libre durante no menos de 7 días y un máximo de 30 días consecutivos antes del día en cuestión.

Velocidad del viento meteorológica (m/s)

3.4

Datos del terreno

Urbano

La velocidad del viento sólo se considera en los cálculos de flotabilidad + viento. Dirección del viento se supone perpendicular a la superficie de las entradas. Se recomienda tener en cuenta la reducción de la velocidad del viento de acuerdo a la complejidad de la trama urbana.

Azimuth (plano) de entrada

El Modelo de cielo despejado ASHRAE (2005), desarrollado inicialmente por J. L. Threlkeld en 1962, se utiliza para estimar de forma horaria la radiación directa y difusa para cualquier mes del año. Este modelo es aplicable al continente de Estados Unidos y su aplicabilidad fuera de los EE.UU. nunca ha sido demostrada. Optivent 2.0 extiende la aplicación a cielos despejados a ambos hemisferios norte y sur. Tenga en cuenta que el modelo de cielo despejado se ha actualizado en las versiones posteriores de ASHRAE.

La entrada (superficie) de azimuth se utiliza para estimar las ganancias solares en las células para la posición del sol (dada por la latitud, mes y hora).

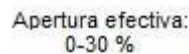
DATOS DE CÁLCULO DE AIRE

GEOMETRIA DEL EDIFICIO & GANANCIAS SOLARES

CONDICIONES INTERNAS

RESULTADOS

La temperatura exterior e interior son las que se esperan tener en la instalación, la temperatura exterior puede ser la temperatura exterior promedio si el techo está expuesto al ambiente, la temperatura interior debe ser 2 a 3 °C mayor que la temperatura exterior. La apertura efectiva indica la eficiencia que tendrá la ventana para permitir el paso de aire, este dato es diferente al coeficiente de paso y no guardan relación alguna. Según el tipo de ventana que se planea utilizar, se debe seleccionar el porcentaje a utilizar para la entrada y la salida, si el diseño de las ventanas es igual en ambos lados se utilizará el mismo valor. Para el ejemplo se asumió que se utilizarán ventanas con paletas que estarán abiertas completamente, esto con una entrada efectiva del 30%.



En la siguiente pestaña, geometría del edificio y ganancias, se ingresa la información de la infraestructura.

ESTRATEGIAS DE VENTILACIÓN NATURAL

LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

DATOS DE CÁLCULO DE AIRE

GEOMETRÍA DEL EDIFICIO & GANANCIAS SOLARES

Geometría del edificio y ganancias solares

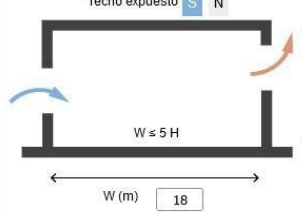
El cálculo de las ganancias solares (directas y conductivas) se utiliza para estimar la cantidad de caudal requerido para eliminar el calor total generado dentro del espacio (necesario para la refrigeración).

Las ganancias solares se calculan para cada célula independiente por medio de la orientación latitud, mes, horas y el edificio.

Dimensiones de la celda

Sección

Techo expuesto ☒ S ☐ N



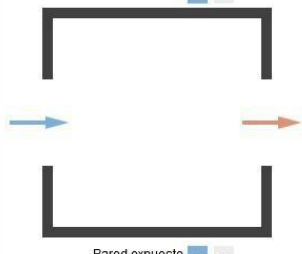
H (m)

W (m)

W ≤ 5 H

Planta

Pared expuesta ☒ S ☐ N



L (m)

Pared expuesta ☒ S ☐ N

Propiedades de los materiales de construcción

Acristalamiento

Factor de transmitancia solar (0-1) ?

Coefficiente de sombra (%) ?

Pared

Absortividad de la superficie (0-1) ?

Valor U (W/m².K)

Transmitancia de la superficie exterior (W/m².K) ?

Techo

Absortividad de la superficie (0-1) ?

Valor U (W/m².K)

Transmitancia de la superficie exterior (W/m².K) ?

CONDICIONES INTERNAS

RESULTADOS

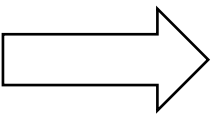
En dimensiones de la celda se ingresa el tamaño de la nave industrial, se puede indicar si el techo o paredes se encuentran expuestos al ambiente seleccionando sí (S) o no (N). La construcción de la geometría y las gráficas no representan necesariamente todo el edificio, y podrían referirse a una habitación o el plano interior de una nave en un gran espacio abierto.

En propiedades de los materiales de construcción se pueden modificar los valores para indicar su capacidad de transmitir calor, si no se conocen los datos se pueden utilizar los valores por defecto. La herramienta proporciona unos valores de referencia al presionar el símbolo de interrogación. Por ejemplo, transmitancia de la superficie exterior en pared:

ficie (0-1) ?

ficie

ficie ?



Trasmitancia de la superficie exterior (W/m².K)

La transmitancia superficial externa es la transmitancia térmica de la superficie externa expuesta a la radiación solar expresada en W/m².K y depende del espesor de la capa de construcción y la conductividad térmica del material.

Typical values for some construction materials are:

Flujo horizontal

100 mm ladrillo 3.5 W/m².K

200 mm hormigón aligerado 1.7 W/m².K

200 mm hormigón armado 3.6 W/m².K

25 mm piedra 5.6 W/m².K

13 mm madero 3.2 W/m².K

25 mm estuco 4.8 W/m².K

140 mm bloque de tierra 0.9 W/m².K

Flujo hacia abajo

1 mm superficie metálica 4.8 W/m².K

10 mm lámina bituminosa 3.7 W/m².K

3 mm lámina asfáltica 4.6 W/m².K

10 mm baldosa cerámica 4.7 W/m².K

En la siguiente pestaña, condiciones internas, se especifica la generación de calor en el interior del edificio.

23

OPTIVENT 2.1

EN

ES

CH

EJECUTAR

ESTRATEGIAS DE VENTILACIÓN NATURAL

LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

DATOS DE CÁLCULO DE AIRE

GEOMETRÍA DEL EDIFICIO & GANANCIAS SOLARES

CONDICIONES INTERNAS

RESULTADOS

Condiciones internas

El cálculo de las ganancias internas se utiliza para estimar la cantidad de caudal requerido para eliminar el calor total generado dentro del espacio (necesario para la refrigeración).

Las ganancias internas se refieren sólo a una celda.

Ocupantes

El número de personas que se utiliza para calcular la ventilación mínima requerida para el suministro de aire fresco (10 l/s).

en reposo (76W)	0	personas
trabajo de oficina (85W)	2	personas
caminar (100W)	2	personas
ejercicio (120W)	18	personas

Ganancia interna

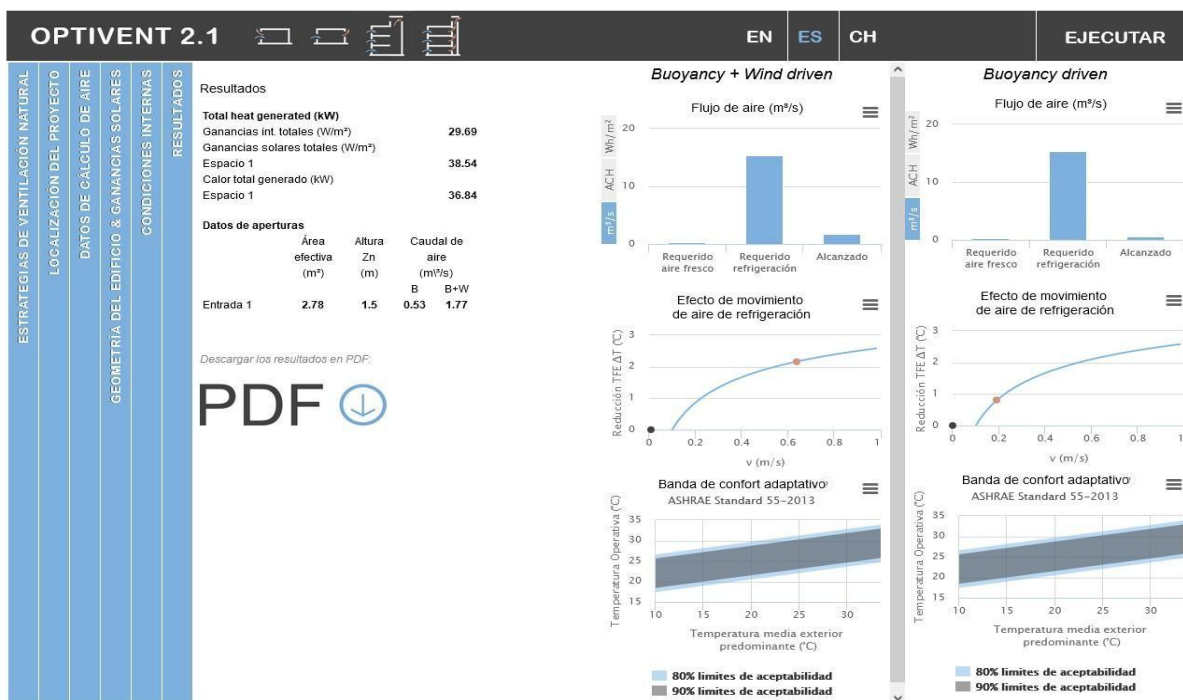
Equipo W/m²	15.0
Iluminación W/m²	10.0

Asignaciones de referencia para las ganancias de calor internas en edificios

Tipos de edificios	Uso	Densidad de ocupación (m²/persona)	Ganancia de calor sensible (W/m²)	
			Iluminación	Equipos
Oficinas	General	12	8-12	15
	Salas de reuniones / conferencias	3	10-20	5
Aeropuertos / estaciones	Puertas de embarque	0.83	15	5
	Espacios de circulación	10	12	5
Venta al por menor	Centros comerciales	2-5	6	0
	Tiendas minoristas	5	25	5
Educación	Aulas	1.2	12	2
	Espacios docentes	1.5	12	10
	Sala de seminarios	3	12	5
Ocio	Recepción de un hotel	4	10-20	5
	Restaurantes/comida	3	10-20	5
	Bares/salones	3	10-20	5

CIBSE (2015). Table 6.2, Chapter 6: Internal gains.

En ocupantes se indica la cantidad de personas que se esperan tener dentro de las instalaciones y el tipo de actividad que estarán haciendo. Se tendrán 2 personas haciendo trabajo de oficina, podrían ser recepcionistas o personal de ventas, otras 2 personas caminando frecuentemente, podrían ser supervisores y 18 personas haciendo ejercicio, estos serán los operarios y personal de bodega. Ganancia interna indica la cantidad de calor que se genera debido al funcionamiento de equipos o iluminación, la plataforma brinda algunos valores de referencia. Una vez ingresada esta información, se presiona el botón ejecutar en la esquina superior derecha.

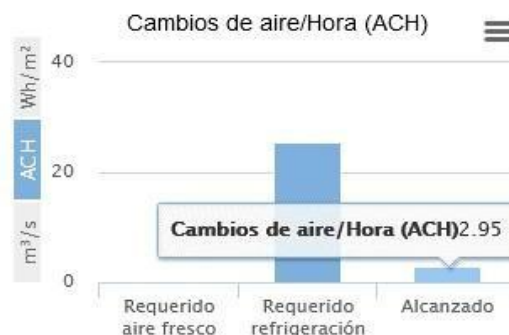


La herramienta permite generar un reporte en PDF, las gráficas de resultados se dividen en dos grupos, una donde solo se considera la ventilación con flujo por convección (*buoyancy driven*) y otra donde se considera además el efecto del viento (*buoyancy + wind driven*), es de mayor interés las gráficas donde se considera el viento. La primera gráfica en realidad es tres, donde se puede cambiar entre ellas al seleccionar el botón correspondiente a cada una.

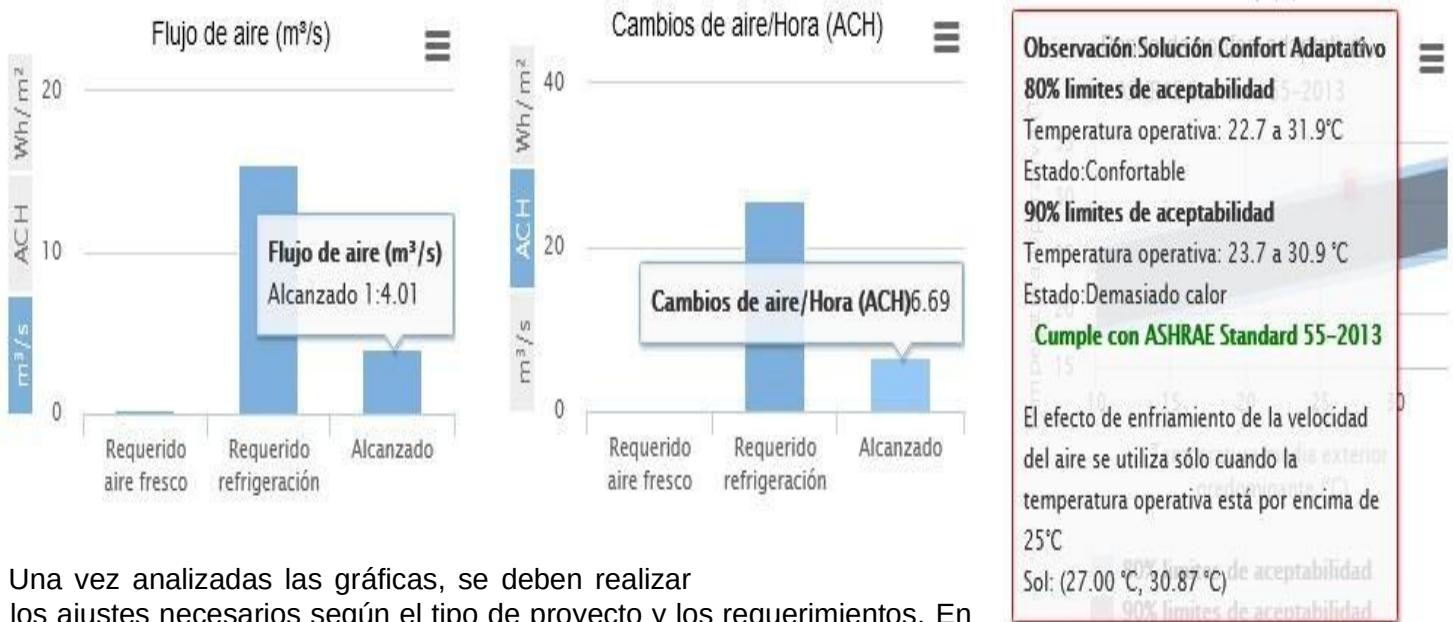
Esta primera gráfica, indica el flujo de aire según las condiciones planteadas, las primeras dos franjas son los requerimientos para la renovación de aire fresco y para controlar la temperatura respectivamente. Al multiplicar este valor por 3600 se puede determinar el flujo en m³/h. Recordando que el reglamento de salud y seguridad ocupacional exige 50 m³/h por trabajador, y en ambientes calurosos debe ser como máximo 1 m³/s.



Esta gráfica indica las renovaciones de aire por hora, al evaluar las condiciones de ventilación, en realidad se estará renovando 2.95 veces el aire cada hora. Recordando que el reglamento de salud y seguridad ocupacional solicita de 4 a 8 veces por hora.



Esta gráfica representa la energía que se renueva para controlar el calor dentro de las instalaciones. No es de mucha utilidad para el análisis, en comparación con los otros resultados. Esta gráfica nos indica las condiciones de temperatura para el personal que se encontrará dentro de las instalaciones. Según se observa, en las condiciones de trabajo habrá demasiado calor, aunque se cumplan con las renovaciones de aire del reglamento de salud y seguridad ocupacional.

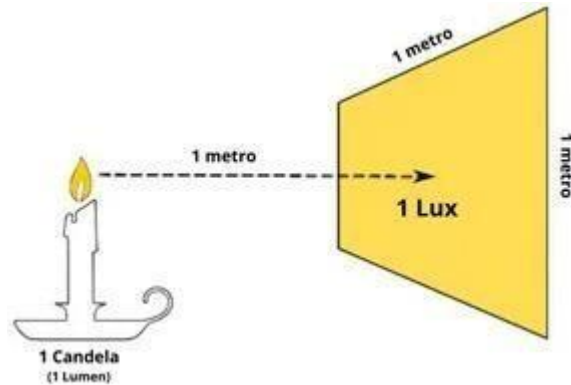


Una vez analizadas las gráficas, se deben realizar los ajustes necesarios según el tipo de proyecto y los requerimientos. En el ejemplo, se buscará que la temperatura de operación sea confortable. Los ajustes se deberán hacer en la pestaña “datos de cálculo de aire”. Específicamente, aumentando el área de las ventanas o cambiando el tipo de ventana para tener mayores aperturas efectivas. Para el ejemplo, se utilizarán ventanas con una apertura efectiva del 50% para entrada y salida, aumentando el área a 12.5 m², estos datos fueron seleccionados arbitrariamente con criterio de diseño. Con estas nuevas condiciones se tienen los siguientes resultados: Al realizar los cambios y ejecutar la herramienta nuevamente, podemos cumplir tanto con las renovaciones de aire necesarias, como con el mantener la temperatura de operación en un rango cómodo, aún en las condiciones meteorológicas más adversas. Por tanto, con las condiciones de diseño de las ventanas, la ventilación natural es una opción viable en el ejemplo. Se debe tener cuidado de no superar el área superficial de la pared respecto al tamaño de las ventanas, en el ejemplo, el área superficial de la pared es de 30 m x 4 m = 120 m², el área de ventana es de 12.5 m², por tanto, no existe ningún inconveniente con este diseño y podría utilizarse un área mayor.

Iluminación

Es un factor de gran importancia dentro de las empresas, ya que de esto depende el éxito de las actividades que se desarrollen dentro de las mismas. Actualmente, cuando se habla de iluminación industrial no solo nos estamos refiriendo a las lámparas que se utilizarán para iluminar un área de trabajo, sino que también se refiere a la iluminación natural que es posible utilizar con el fin de no tener mucho gasto en iluminación artificial.

La unidad que sirve para medir la iluminancia es el lux, es la intensidad con la cual incide la luz (lúmenes) sobre una superficie localizada a un metro de la fuente de luz que en este caso una candela prendida.



Las unidades y definiciones de iluminación son las siguientes:

- ✦ Flujo luminoso: flujo de luz, independiente de la dirección, por lo general, se usa para expresar la producción total de luz de una fuente y para expresar la cantidad incidente sobre una superficie, su unidad es el lumen (lm).
- ✦ Iluminancia: Cantidad de luz a una distancia dada, su unidad es el lux.
- ✦ Reflectancia: porcentaje de luz reflejada desde una superficie, esta definición no tiene unidad.

Para determinar la distribución de luminarias en una instalación, tradicionalmente se utiliza el método de la cavidad zonal. Mientras que su cálculo es funcional, es un método trabajoso y obsoleto en presencia de herramientas informáticas que hacen este cálculo de manera automática.

Entre tales herramientas se encuentra el sitio web gratuito de *visual 3D*, al suministrar la información relevante, este sitio web proporciona la distribución de las luminarias y la cantidad de ellas necesarias, pudiendo hacer ajustes en el momento si se desean evaluar otro tipo de luminarias.

Ingresa al siguiente link:

<https://www.visual-3d.com/>

Y le desplegara la siguiente pantalla

Visual®

SoftwareApoyoNoticiasCuenta

FileHelpTools

Visual Interior Tool™

AcuityBrands

Settings

Units Feet - Footcandles

Room Dimensions

Length [X] 26 ft

Width [Y] 31 ft

Height [Z] 10 ft

Workplane 2.5 ft

Ceiling Type 2x2

Room Reflectances

Ceiling 80 %

Walls 50 %

Floor 20 %

Criteria

Illuminance 30 fc

Power Density W/ft²

Quantity

Constraints

Spacing X ft

Spacing Y ft

Rows

Columns

31

26

7.5

12

7

Calculation Results [A]

Illuminance 33 fc

Power Density 0.87 W/ft²

Quantity 6

Spacing Results [A]

Spacing 12 x 8 ft

Arrangement 2 x 3

Outside Spacing X 6 ft

Outside Spacing Y 5.5 ft

Comparison

Luminaire	FC	W/ft²	Count
A	33	0.87	6
B	30	0.59	4
C	27	0.63	4

Display

Show Zonal Cavity Info [-]

Interior Tool

Calculate Rectangular Spaces

View Luminaire layout

RCP, Isometric, and Elevations

View Zonal Cavity Information

Software de diseño de iluminación diseñado para la productividad

Descarga de Visual Lighting 2020 R2

Herramientas de diseño

Herramienta de interior

Determine fácilmente los diseños para la mayoría de las habitaciones

Apoyo

Base de conocimientos

Videos de formación

Proyectos tutoriales

Herramientas de diseño visual

Área

Económico

Foco

Interior

Fotométrico

Calzada

Simple

Plantilla

Lavado de paredes

Ingrese a la sección: "Interior"

Debe acceder a la opción "Interior" dentro del entorno de trabajo visual 3D, donde se configurarán los parámetros correspondientes al diseño de iluminación para espacios cerrados.



Ajustes

Unidades

Dimensiones de la habitación

Longitud [X] metro

Ancho [Y] metro

Altura [Z] metro

Plano de trabajo metro

Tipo de techo

Reflectancias de la habitación

Techo %

Muros %

Piso %

Criterios

Iluminancia lux

Densidad de potencia W/m²

Cantidad

Restricciones

Espaciado X metro

Espaciado Y metro

Filas

Columnas

Configuración inicial en Visual 3D para el diseño de iluminación

1. Selección del idioma

Al iniciar la aplicación Visual 3D, debe seleccionarse el idioma **español** para facilitar la navegación en la interfaz del software.

2. Configuración del sistema de unidades

En el menú **Ajustes**, se debe seleccionar el **Sistema Internacional de Unidades (SI)**, configurando las siguientes unidades:

- **Metros** para la longitud
- **Lux** para la iluminancia

3. Ingreso de las dimensiones del espacio

Deben ingresarse las dimensiones del área de trabajo (largo, ancho y altura), información necesaria para el cálculo y la distribución adecuada de las luminarias.

4. Definición de reflectancias y niveles de iluminancia Se deben establecer las **reflectancias** correspondientes a las superficies (techo, paredes y piso), ya que estas influyen directamente en la distribución de la luz. Asimismo, deben considerarse los **niveles mínimos de iluminancia requeridos**, conforme a lo estipulado en el **Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional**, en función del tipo de actividad que se desarrollará en el espacio.

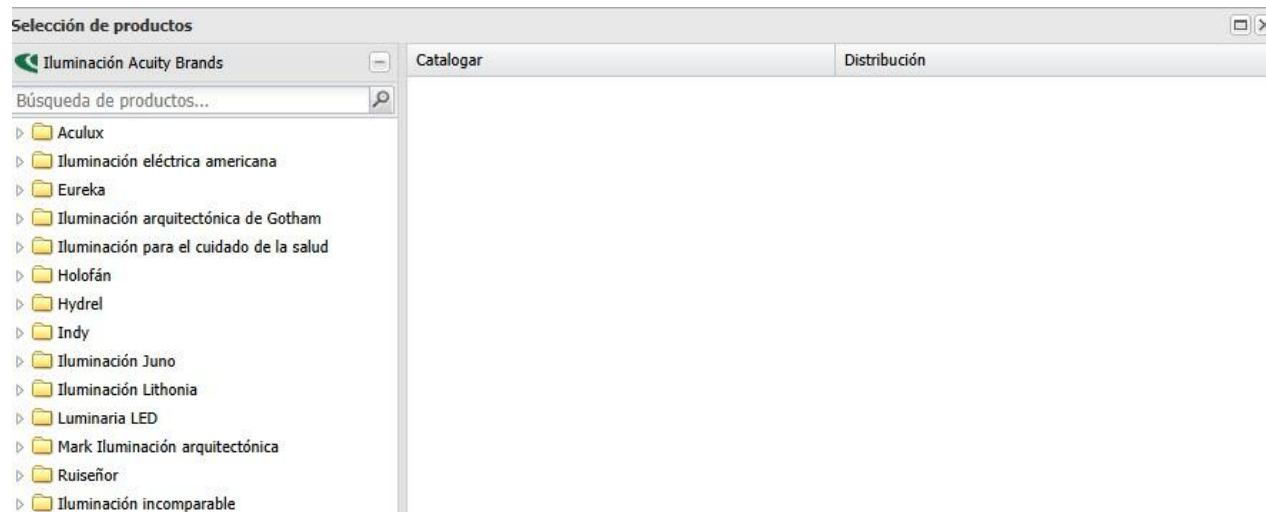
El reglamento de salud y seguridad ocupacional establece en el artículo 167 los niveles mínimos de luxes que se deben proporcionar en los lugares de trabajo, estos se encuentran en la siguiente tabla.

Zona de trabajo	Exigencia visual	Nivel mínimo de luxes
Fábricas		
Áreas de tránsito y pasillos	Baja	100-150
Tanques y bombas	Baja	100-150
Baños	Baja	100-150
Escaleras y pasamanos	Media	150-200
Sala de calderas y cuartos de control	Media	150-200
Bandas transportadoras	Media	150-200
Bodegas de almacenaje y centros de distribución	Alta	200-500
Bancos de trabajo y líneas de producción	Alta	200-500
Empaque de productos	Alta	200-500
Áreas de carga	Alta	200-500
Control de calidad	Alta	500-1000
Laboratorios	Alta	500-1000
Oficinas		
Escaleras y pasillos	Baja	100-150
Baños	Baja	100-150
Recepción y sala de reuniones	Media	200-500
Bodegas de materiales	Media	200-500
Trabajo de oficinistas	Alta	500-1000
Redacción	Alta	1500-2000
Archivo	Alta	1500-2000

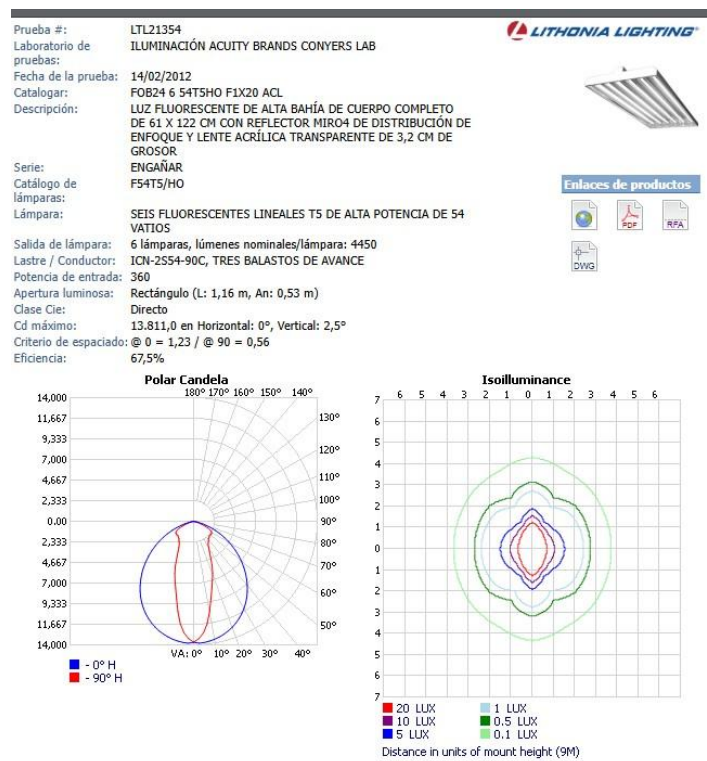
Continuación de la tabla anterior.

Zona de trabajo	Exigencia visual	Nivel mínimo de luxes
Bodegas y talleres		
Baños	Baja	100-150
Bodegas de almacenaje y centros de distribución	Alta	200-500
Trabajo, inspección y selección de producto	Alta	1500-2000
Trabajo mecánico o manual	Alta	1500-2000
Comercios		
Pasillos	Baja	100-150
Recepción	Baja	100-150
Baños	Baja	100-150
Elevadores y gradas eléctricas	Media	200-500
Restaurantes y cocinas	Alta	1500-2000
Vitrinas	Alta	1500-2000
Hospitales		

Baños	Baja	100-150
Sala de espera y corredores	Media	200-500
Laboratorios	Alta	500-1000
Cuarto de examinación	Alta	1500-2000
Quirófano y sala de operaciones	Alta	1000-3000



Una vez seleccionado el sistema de unidades, debe presionarse el ícono “+”, ubicado en la parte inferior de la interfaz, correspondiente a la opción **Información del proyecto**. En esta sección, debe especificarse el **tipo de iluminación** que se utilizará, lo cual dependerá de las características de la instalación que se está evaluando. Para efectos del presente ejemplo, se empleó **iluminación Lithonia**.



Una vez configuradas las luminarias, se deben configurar las dimensiones de la habitación que se está evaluando y la reflectancia de las superficies.

En los porcentajes de reflectancia se deben considerar si las superficies se encuentran pintadas o no, y el tipo de material del que están preparados. Para referencia se presenta la siguiente tabla de porcentajes de reflectancia, cabe resaltar que mientras más claros sean los colores de techo y paredes, mayor será el nivel de iluminación en el plano de trabajo. No se recomienda tener un alto porcentaje de reflectancia en el suelo para evitar la fatiga de los ojos.

Superficie pintada	Porcentaje de reflectancia	Material expuesto	Porcentaje de reflectancia
Negro	4%	Ladrillos esmaltados blancos	80%
Rojo	20%	Mármol blanco	65%
Azul	20%	Terminación iggam claro	50%
Marrón	25%	Terminación iggam oscuro	30%
Verde	30%	Piedra arenisca clara	40%
Gris	35%	Piedra arenisca oscura	25%
Beige	45%	Ladrillo vista claro	35%
Amarillo	50%	Ladrillo vista oscuro	25%
Aluminio natural	70%	Madera clara	40%
Blanco	80%	Madera oscura	20%
Aluminio pulido	95%	Granito intermedio	20%
Espejo	99%	Hormigón natural	15%
		Piedra arenisca	15%

Para el ejemplo, se asumirá que el techo y las paredes del área de control de calidad se encuentran pintadas de color blanco y el suelo es de granito intermedio.

La herramienta proporciona la información de la distribución de las luminarias que se desean utilizar y el diagrama proporciona una ayuda visual para comprender mejor esta información. Sobre el diagrama aparecerán tres datos, primero, la cantidad de luxes alcanzados con la distribución propuesta, segundo, la cantidad de luminarias necesarias en total y, por último, la potencia utilizada por área iluminada. Si se desea evaluar alguna otra luminaria para la misma habitación, solo hace falta ajustar la información relevante en la pestaña adecuada.

Ajustes

Unidades Metros - Lux

Dimensiones de la habitación

Longitud [X] metro
Ancho [Y] metro
Altura [Z] metro
Plano de trabajo metro
Tipo de techo Abierto

Reflectancias de la habitación

Techo %
Muros %
Piso %

Criterios

Iluminancia lujo
Densidad de potencia W/m²
Cantidad

Restricciones

Espaciado X [SC=0,3] metro
Espaciado Y [SC=0,6] metro
Filas
Columnas

Resultados del cálculo [A]

Iluminancia **884** lux
Densidad de potencia **14,4** W/m²
Cantidad **6**

Resultados de espaciado [A]

Espaciado **5 x 5** metros
Acuerdo **3 x 2**
Espaciado exterior X **2,24** metros
Espaciado exterior Y **1,92** metros

Mostrar

Dimensiones Habitación ☒ Disposición ☐
Mostrar información de la cavidad zonal ☐

Información del proyecto

A

+

Iluminación Lithonia

[A] - FOB24 6 54T5HO F1X20 ACL

Factor de pérdida de luz
Longitud de la suspensión
Orientación

Forma del símbolo Rectangular
Longitud del símbolo
Ancho del símbolo

Cantidad de lámparas
Lúmenes por lámpara
Potencia

Para este ejemplo, considerando las dimensiones del edificio (15 x 10 x 3 metros) y tomando en cuenta las reflectancias del techo, los muros y el piso, el software determina que la **iluminancia adecuada es de 884 lux**, requiriéndose un total de 6 luminarias.

Este nivel de iluminancia se considera aceptable, conforme a lo establecido en el Acuerdo Gubernativo 2292014, que regula el Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional.

Caso 1. Tratando a su salón de clases como una nave industrial, clasifique el tipo de edificación industrial y evalúe si cumple con el reglamento de salud y seguridad ocupacional para los aspectos de ventilación natural, iluminación y ruido, (para conocer el nivel de ruido, se recomienda aproximar el valor utilizando una aplicación de teléfono). Asuma o investigue la información necesaria o faltante. Todo lo anterior justifíquelo en un informe escrito de una página como máximo.

Caso 2. Se desea evaluar la construcción de una nave industrial pequeña de 15 m x 10 m x 4 m, que será utilizada como un punto de almacenamiento para materia prima ligera, que no requiere de maquinaria especial para mover o estibar. Esta se encontrará ubicada en San Lucas, Sacatepéquez. La nave industrial tiene colindancia con otros tres edificios y por lo tanto se debe realizar ventilación simple. Como parte del personal se tendrán 2 supervisores, 8 auxiliares de bodega y 1 personal de mantenimiento. Por las mañanas, se utiliza una empacadora que provoca 96 dB durante 35 minutos en la nave industrial. Asuma o investigue cualquier dato faltante.

Realice lo siguiente:

- ✦ Estudie la factibilidad de utilizar ventilación natural, proponga el diseño de la ventana.
- ✦ Determine la cantidad de luminarias a utilizar, proponga el tipo de luminarias y materiales o colores de pintura de las paredes. Calcule el costo total de la compra de las luminarias (no hace falta estimar la instalación).

Caso 3. Se desea evaluar la construcción de una nave industrial pequeña de 25 m x 20 m x 3.5 m, que será utilizada como un punto de almacenamiento para producto terminado, que no requiere de maquinaria especial para mover o estibar. Esta se encontrará ubicada en un parque industrial ubicado en el centro de Chimaltenango. La nave industrial tiene colindancia con otros dos edificios y por lo tanto se debe realizar ventilación cruzada. Como parte del personal se tendrán 8 supervisores, 20 auxiliares de bodega y 2 personal de mantenimiento. Asuma o investigue cualquier dato faltante.

Realice lo siguiente:

- ✦ Estudie la factibilidad de utilizar ventilación natural, proponga el diseño de la ventana.
- ✦ Determine la cantidad de luminarias a utilizar, proponga el tipo de luminarias y materiales o colores de pintura de las paredes. Calcule el costo total de la compra de las luminarias (no hace falta estimar la instalación).

PRÁCTICA NO. 3

DISTRIBUCIÓN INDUSTRIAL

1. Propósito de la práctica:

- 1.1. Identificar la importancia que tiene la distribución idónea para organizar los procesos.
- 1.2. Conocer y aplicar los diversos métodos de distribución industrial.
- 1.3. Desarrollar el criterio e interpretación de los diversos métodos de distribución industrial.

2. Marco Teórico:

Distribución industrial: la distribución de instalaciones es una de las decisiones clave que determinan la eficacia de las operaciones a largo plazo; y tiene numerosas implicaciones estratégicas porque establece las prioridades competitivas de la organización en relación con la capacidad, los procesos, la flexibilidad y el costo, al igual que con la calidad de vida en el trabajo, el contacto con el cliente, y la imagen. Una distribución efectiva puede ayudar a una organización a lograr una estrategia que apoye la diferenciación, el bajo costo o la respuesta. En todos los casos, el diseño de la distribución debe considerar la manera de lograr lo siguiente:

- ✦ Mayor aprovechamiento de espacio, equipo y personas.
- ✦ Mejor flujo de información, materiales y personas.
- ✦ Mejor ánimo de los empleados y condiciones de trabajo más seguras.
- ✦ Mejor interacción con el cliente.
- ✦ Flexibilidad (cualquiera que sea la distribución actual, deberá cambiar).

En el mundo actual de productos con un ciclo de vida cada vez más corto, y creciente personalización masiva, los diseños de distribución deben ser dinámicos. Esto significa considerar equipos pequeños, móviles y flexibles. Los exhibidores de las tiendas deben ser móviles, los escritorios de oficina y las divisiones, modulares, y los anaqueles de almacén, prefabricados. Para hacer cambios rápidos y sencillos en los modelos de producto y en las tasas de producción, los administradores de operaciones deben diseñar flexibilidad en la distribución. En algunos casos, los equipos sobre ruedas resultan apropiados, anticipándose al siguiente cambio.

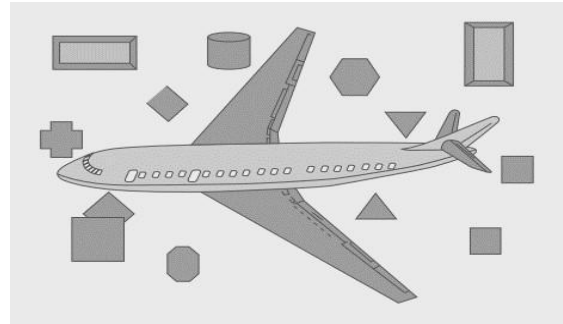
Tipos de distribución: no existe una distribución que sea funcional para todas las situaciones, según las actividades, bienes o servicios que se desean organizar, la mejor estrategia para la distribución será diferente.

Tipo de distribución	Objetivo	Ejemplos
Oficina	Ubicar cerca a los trabajadores que requieren estar en contacto frecuente	Área administrativa, recursos humanos
Tienda	Exponer al cliente a artículos de alta utilidad	Supermercados
Almacén	Balancear el almacenamiento de bajo costo con el manejo de material de bajo costo	Centros de distribución
Proyecto	Llevar los materiales a áreas de almacenamiento delimitadas alrededor del sitio	Edificios, aviones, barcos
Taller de trabajo	Manejar flujos variados de material para cada producto	Hospitales, restaurantes
Célula de trabajo	Identificar una familia de productos, formar equipos, capacitar en forma cruzada a los miembros de equipo	Fábricas de alimentos

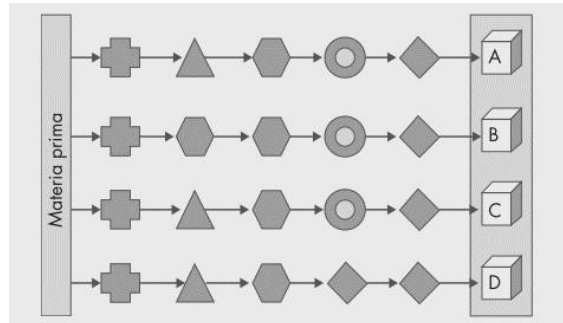
Línea	Igualar el tiempo de las tareas realizadas en cada estación de trabajo	Maquilas, líneas de ensamble o producción
-------	--	---

De los anteriores, son de particular interés el taller de trabajo, la célula de trabajo, las líneas de producción y la distribución por proyecto.

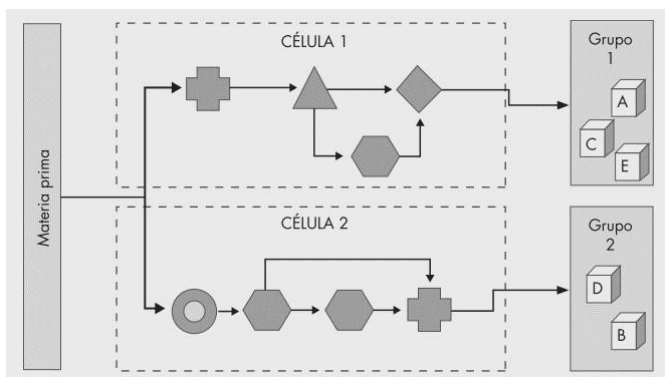
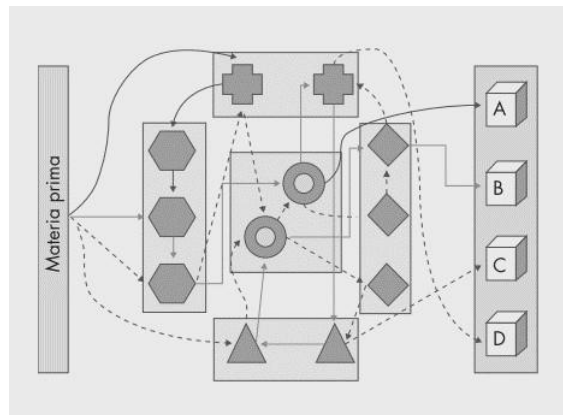
Proyecto: en esta distribución, el producto (debido a su volumen o peso) está fijo en un lugar y el equipo de producción va al producto, no a la inversa. Debido a que no se puede trasladar el producto a los procesos, entonces los procesos se llevan al producto. Las obras de construcción y los productos de gran tamaño, como vehículos, son ejemplos de este formato.



Línea: el equipo o los procesos de trabajo se ordenan según las etapas progresivas de la fabricación del producto. La ruta de cada pieza es en realidad una línea recta. Son adecuadas cuando se tiene una variedad muy pequeña de productos altamente estandarizados, los cuales son producidos en altos volúmenes. Las líneas de ensamble de calzado, las plantas químicas y los lavados de autos son distribuciones basadas en el producto.



Taller de trabajo: también llamado centro de trabajo o distribución por funciones, este agrupa funciones o equipamientos similares, se da en lugares donde se genera una alta variedad de productos no estandarizados en volúmenes bajos de producción. Después, el producto que se trabaja avanza, en una secuencia preestablecida de operaciones, de un área a otra, donde se encuentran las máquinas necesarias para cada operación. Por ejemplo, este tipo de distribución es común en los hospitales, donde las áreas están dedicadas a tipos particulares de servicios médicos.



Célula de trabajo: también llamada celda, reúne distintas máquinas para trabajar en productos con formas y requerimientos de procesamiento semejantes. Una celda de manufactura se parece a un centro de trabajo porque las celdas están diseñadas para desempeñar un conjunto específico de procesos, pero también se parece a una línea de ensamble porque las celdas se dedican a una gama limitada de productos. Es un punto intermedio entre los dos tipos de distribución anteriores.

Métodos para realizar distribución: para la distribución de espacios, la metodología puede variar enormemente dependiendo del tipo de distribución que se desea realizar, en general, se pueden utilizar el diagrama desde-hacia y el diagrama de relaciones para obtener una idea generalizada de la distribución. El procedimiento recomendado es el siguiente:

Paso 1. Diagramar las relaciones: en esta primera etapa se establecen las relaciones entre las diferentes áreas; después, se elabora un diagrama sobre un formato especial llamado diagrama de relaciones. Una relación es el grado relativo de acercamiento, que se desea o que se requiere, entre diferentes actividades, áreas, departamentos, habitaciones, etc., según lo determine la información cuantitativa del flujo (volumen, tiempo, costo, enrutamiento) de un diagrama desde-hacia, o más cualitativamente, de las interacciones funcionales o información subjetiva.

Diagrama desde-hacia: antes de corregir una configuración o diseñar una nueva, el analista debe acumular los hechos que pueden influir sobre la distribución. Los diagramas desde-hacia pueden ser de gran utilidad para diagnosticar problemas relacionados con el arreglo de departamentos y áreas de servicio, así como con la ubicación de equipo dentro de un determinado sector de la planta. Este consiste en una matriz que despliega la magnitud del manejo de materiales que se lleva a cabo entre dos instalaciones en un periodo determinado. La unidad que identifica la cantidad de manejo de materiales puede ser la que le parezca más apropiada al analista. Pueden ser libras, toneladas, frecuencia de manejo de materiales, etc.

Diagrama identificando la cantidad de viajes, costo de transporte, distancia o flujo de material entre áreas, las unidades pueden ser las convenientes para el analista.

Hacia De	Sierras	Fresadora	Troque- ladora	Taladros	Tornos	Lijadoras
Sierras		43	26	14	40	
Fresadora			75	60		23
Troque- ladora					45	16
Taladros		22			28	
Tornos		45		30		60
Lijadoras		12				

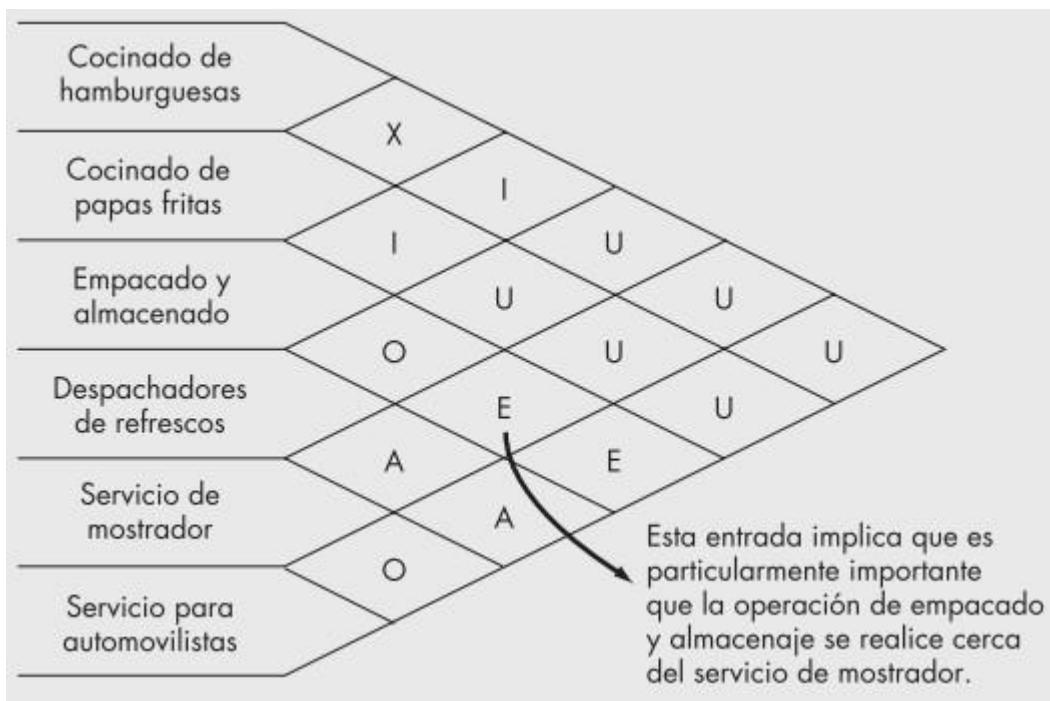
Los diagramas desde-hacia no son un medio para determinar distribuciones, sino simplemente una manera conveniente de expresar las características importantes de flujo de una distribución existente. Pueden ser útiles para comparar los costos de manejo de materiales de un pequeño número de alternativas. Como los diferentes criterios del costo del manejo de materiales son relevantes, el diagrama desde-hacia debe enriquecerse con información extra, como la contenida en un diagrama de relación de actividades.

Diagrama de relaciones: es un medio gráfico con el que se representa la conveniencia de ubicar pares de operaciones cercanas entre sí. Se han sugerido los siguientes códigos de letras para determinar una

clasificación de “cercanía”. La calificación se otorga según el criterio del analista y la información del diagrama desde-hacia. La calificación de las relaciones es la siguiente:

- ✦ **Absolutamente necesario (A):** como dos operaciones pueden usar el mismo equipo o las mismas instalaciones, deben localizarse cercanas entre sí.
- ✦ **Especialmente importante (E):** las instalaciones pueden requerir el mismo personal o los mismos registros, por ejemplo.
- ✦ **Importante (I):** las actividades pueden ordenarse secuencialmente en el flujo de trabajo normal.
- ✦ **Ordinaria (O):** sería conveniente que las instalaciones estén cercanas entre sí, pero no es imprescindible.
- ✦ **Sin importancia (U):** no importa si las instalaciones se ubican próximas entre sí o no.
- ✦ **No es deseable (X):** la ubicación de un departamento de soldadura cerca de uno que emplea líquidos inflamables entraría en esta categoría.

Ejemplo de un diagrama de relaciones.

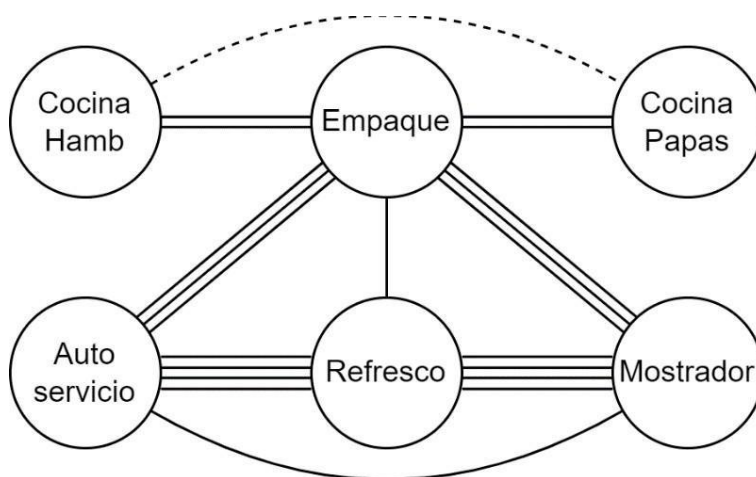


Paso 2. Establecer las necesidades de espacio: en la segunda etapa se establecen las necesidades de espacio en términos de los metros cuadrados que existen. Estos valores pueden calcularse con base en las necesidades de producción, extrapoladas a partir de áreas existentes, proyectadas para expansiones futuras o establecidas por estándares legales. Además de los metros cuadrados, el tipo y forma del área que se desee definir, así como la ubicación respecto a los servicios que se requieran, pueden ser aspectos muy importantes.

Paso 3. Elaborar diagramas de relaciones entre actividades: en la tercera etapa se dibuja una representación visual de las diferentes actividades. El analista comienza con las relaciones absolutamente importantes, utilizando líneas cortas para conectar las dos áreas. Luego, el analista procede con las especialmente importantes, utilizando líneas aproximadamente del doble de longitud que las líneas absolutamente importantes. El analista continúa este procedimiento con las importantes, ordinarias, etc., aumentando de manera progresiva la longitud de las líneas, a la vez que intenta evitar que las líneas se crucen o se enreden. En el caso de relaciones indeseables, las dos áreas se colocan lo más alejadamente posible y se dibuja una línea serpenteante (que representa un resorte) entre ellas. Según la siguiente tabla:

Relación	Símbolo	Valor	Líneas en el diagrama	Color
Absolutamente necesario	A	4	=====	Rojo
Especialmente importante	E	3	=====	Amarillo
Importante	I	2	=====	Verde
Ordinario	O	1	=====	Azul
Sin importancia	U	0	----- No se coloca	Sin
No deseable	X	-1	----- O / \ / \ / \ / \	Café

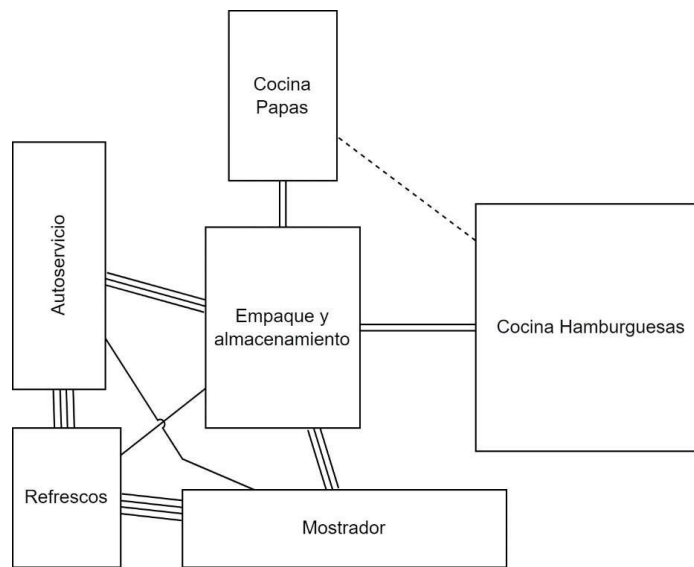
Ejemplo, utilizando del diagrama de relaciones en el ejemplo anterior.



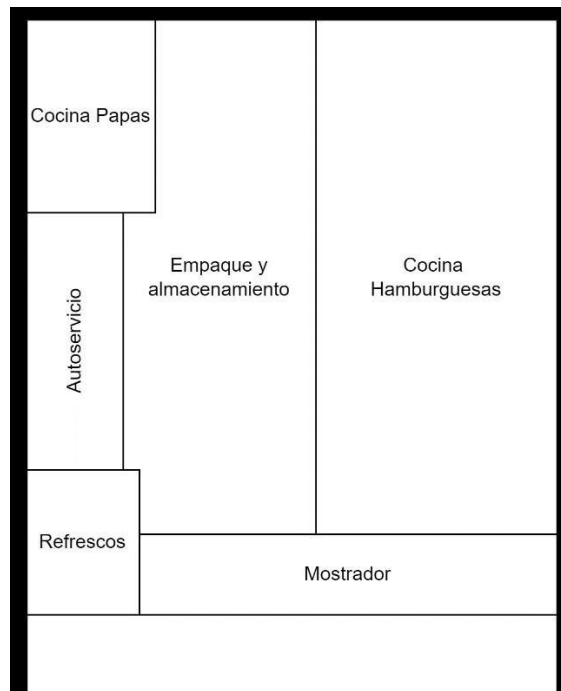
Paso 4. Elabore relaciones de espacio en la distribución: después, se crea una representación espacial escalando las áreas en términos de su tamaño relativo. Una vez que los analistas están satisfechos con la distribución, las áreas se compactan en un plano. Esta tarea no es tan fácil como parece, por lo cual el analista normalmente debe utilizar patrones. Además, se pueden introducir modificaciones al plano con base en las necesidades del manejo de materiales, instalaciones de almacenamiento, necesidades del personal, características del edificio y los servicios generales.

Para esta parte se recomienda utilizar un programa especializado de diagramación, la parte final se puede realizar en un programa de dibujo asistido por computadora CAD, en el que se utilizarán las dimensiones reales de las instalaciones.

Continuando con el ejemplo anterior.



Estas relaciones espaciales se utilizan para completar la distribución.

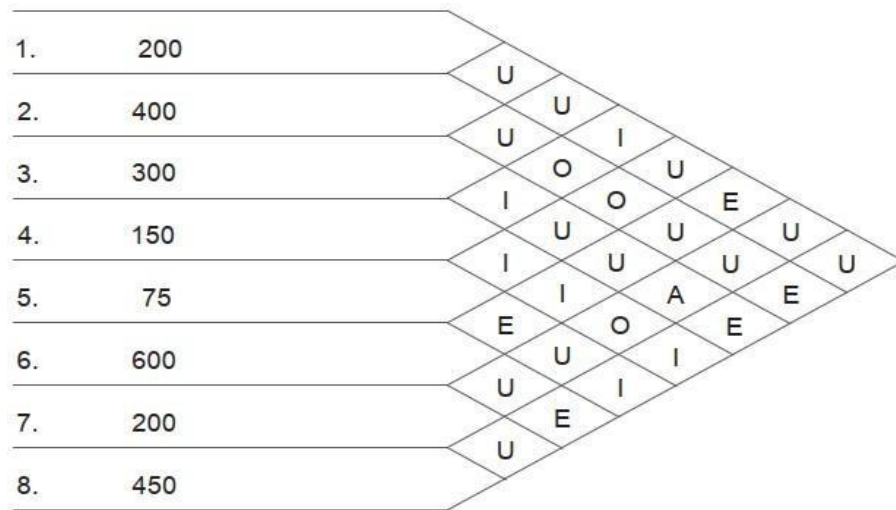


Paso 5. Evalúe una distribución alterna: debido a que existen tantas opciones de distribución, no es nada raro encontrar que varias aparentan ser igualmente probables. En ese caso, el analista debe evaluar las diferentes opciones para poder determinar la mejor solución. Primero, es necesario que se identifiquen factores que se consideran importantes: por ejemplo, la posibilidad de que se desee ampliar las instalaciones en el futuro, flexibilidad, eficiencia de flujo, manejo de materiales eficiente, seguridad, facilidad de supervisión, apariencia y estética, etc. Luego, estos factores son evaluados por el método de ponderación de factores o algún otro para toma de decisiones.

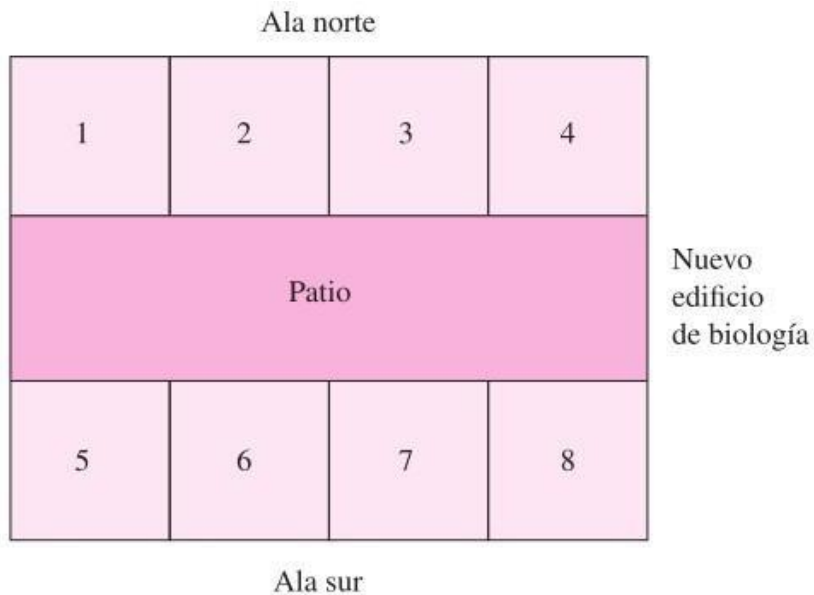
Paso 6. Seleccione la distribución e instálela. El paso final consiste en implantar el nuevo método.

HOJA DE TRABAJO No. 3

Caso 1. Se desea realizar la distribución de actividades de ocho departamentos en una planta de 2 500 m² (50 × 50 m). No existen áreas restringidas. La unidad de área es de 25 m² (5 × 5 m). El diagrama de relación de actividades es la siguiente:



Caso 2. El decano de la facultad de ciencias pidió al departamento de ingeniería que asigne a ocho profesores de biología (A, B, C, D, E, F, G y H) a ocho cubículos (numerados del 1 al 8 en el diagrama) del nuevo edificio de biología.



En los diagramas desde-hacia siguientes, se presenta información relevante.

Flujos en doble sentido (unidades por periodo)								
	A	B	C	D	E	F	G	H
A	–	2	0	0	5	0	0	0
B		–	0	0	0	3	0	2
C			–	0	0	0	0	3
D				–	4	0	0	0
E					–	1	0	0
F						–	1	0
G							–	4
H								–

Luego de hacer la primera propuesta, tenga en consideración lo siguiente:

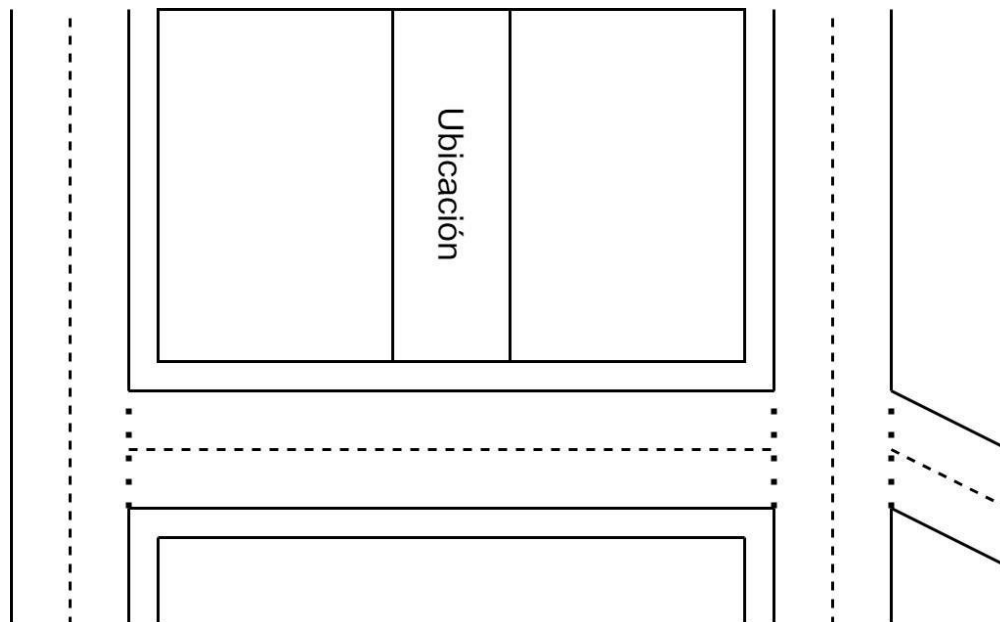
El departamento de biología envió la siguiente información y solicitudes al departamento de ingeniería:

- ✦ Los cubículos 1, 4, 5 y 8 son los únicos con ventanas.
- ✦ A debe asignarse al cubículo 1.
- ✦ D y E, los subdirectores del departamento de biología, deben tener ventanas.
- ✦ H debe estar del otro lado del patio justo enfrente de D.
- ✦ A, G y H deben estar en la misma ala.
- ✦ F no debe estar junto a D o G ni directamente enfrente de G.

Caso 3. S.L.P. Craft pidió su ayuda para la distribución de una nueva clínica de pacientes ambulatorios que construirá en la ciudad. Los datos que se presentan en el diagrama siguiente se obtuvieron a partir de un análisis de otra clínica construida hace poco. Se incluye el número de viajes de los pacientes entre departamentos en un día habitual (sobre la línea diagonal) y las ponderaciones numeradas (definidas anteriormente) entre departamentos de acuerdo con lo especificado por los médicos de la nueva clínica (debajo de la diagonal). El nuevo edificio medirá 60 por 20 pies. Proponga la distribución de las instalaciones.

Departamento	2	3	4	5	6	Superficie requerida (pies cuadrados)
1 Recepción	A 2	O 5	E 200	U 0	O 10	100
2 Rayos X		E 10	I 300	U 0	O 8	100
3 Quirófano			I 100	U 0	A 4	200
4 Consultorios (5)				U 0	I 15	500
5 Laboratorio					O 3	100
6 Estación de enfermeras						100

La única restricción es que la recepción debe estar en el lado de una pared de 20 pies, que da hacia la acera.



Caso 4. La administración de *Walters Company* quiere determinar un arreglo de los seis departamentos de una fábrica de forma que se disminuyan al mínimo los costos por manejo de materiales entre departamentos. Se adopta un supuesto inicial (para simplificar el problema) de que cada departamento mide 5 × 5 metros y que el edificio tiene 15 metros de largo y 10 de ancho.

Departamento	Número de cargas por semana					
	Ensamble (1)	Pintura (2)	Taller de máquinas (3)	Recepción (4)	Embarque (5)	Pruebas (6)
Ensamble (1)		50	100	0	0	20
Pintura (2)			30	50	10	0
Taller de máquinas (3)				20	0	100
Recepción (4)					50	0
Embarque (5)						0
Pruebas (6)						

El edificio deberá estar distribuido acorde a los siguientes espacios:



PRÁCTICA No. 4

DIAGRAMACIÓN DEL PROCESO OPERATIVO

1. Propósito de la práctica:

- 1.1. Conocer los fundamentos para la diagramación de procesos.
- 1.2. Construir diagramas de flujo de procesos, de operaciones y de recorrido.
- 1.3. Utilizar herramientas digitales para realizar diagramas de procesos.

2. Marco Teórico:

Diagramación de procesos operativos: los diagramas proporcionan una descripción sistemática del ciclo de un trabajo o proceso, con suficientes detalles del análisis para planear la mejora de los métodos. Estos muestran la secuencia cronológica de todas las operaciones, inspecciones, tiempos permitidos y materiales que se utilizan en un proceso de manufactura o de negocios, desde la llegada de la materia prima hasta el empaquetado del producto terminado. El diagrama muestra la entrada de todos los componentes y subensambles al ensamble principal. Se pueden identificar tres tipos principales de diagramas:

Diagrama de flujo de procesos: este es un diagrama que representa la secuencia de todas las operaciones, transportes, inspecciones, demoras y del almacenaje que se efectúa en un proceso o procedimiento. Este tipo de diagrama incluye la información sobre el tiempo requerido y la distancia recorrida.

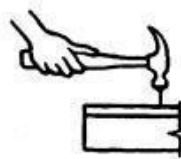
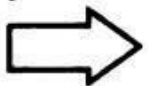
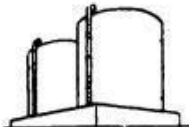
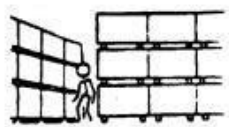
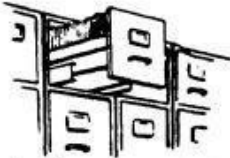
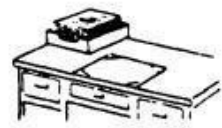
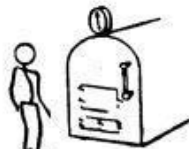
Diagrama de operaciones: este diagrama representa las operaciones e inspecciones que se realizan en la operación, pero no considera aquella información relacionada al manejo de materiales, como el transporte y la demora.

Diagrama de recorrido: es el esquema de la disposición de los pisos y edificios, que muestra la ubicación de todas las actividades del diagrama de flujo de procesos. La ruta del material o del operario que se ha graficado como el recorrido del proceso se sigue en el diagrama de recorrido por medio de líneas.

Construcción de los diagramas de procesos operativos: para realizar los diagramas mencionados anteriormente primero se debe recolectar la información relevante al proceso que se está estudiando. Se debe tener en consideración que en una misma línea de producción se pueden fabricar más de un producto y cada uno de ellos tendrá un diagrama de procesos operativos diferente. Las distintas actividades de un proceso se pueden clasificar en las siguientes categorías.

- ✦ **Operación.** Modifica, crea o agrega algo. Hacer una perforación con un taladro o atender a un cliente son dos ejemplos de operaciones.
- ✦ **Transporte.** Mueve el objeto de estudio de un lugar a otro. El objeto de estudio puede ser una persona, un material, una herramienta o una parte de un equipo. Un cliente que camina de un extremo al otro de un mostrador, una grúa que levanta una viga de acero y la lleva hasta un sitio determinado, una banda transportadora que conduce un producto parcialmente terminado de una estación de trabajo a la siguiente, son ejemplos de transporte.
- ✦ **Inspección.** Revisa o verifica algo, pero sin hacerle cambios. Obtener opiniones de los clientes, revisar si hay manchas en una superficie, pesar un producto y efectuar una lectura de temperatura son ejemplos de inspecciones.

- ✦ **Retraso.** Se presenta cuando el objeto se queda detenido en espera de una acción posterior. El tiempo que pasa a la espera de un servidor, el tiempo que transcurre a la espera de materiales o equipo, el tiempo dedicado a la limpieza y el tiempo que los trabajadores, las máquinas o las estaciones de trabajo permanecen inactivos porque no tienen nada que hacer son ejemplos de retrasos.
- ✦ **Almacenamiento.** Ocurre cuando algo se guarda para usarse después. Algunos ejemplos de almacenaje pueden ser cuando se descargan los suministros y se colocan en un almacén como parte del inventario, cuando un equipo se pone en un lugar después de utilizarlo, y cuando los documentos se guardan en un archivero.

Operación  Un círculo grande indica una operación, como	 Clavar	 Mezclar	 Taladrar orificio
Transporte  Una flecha indica transporte, como	 Mover material mediante un carro	 Mover material mediante una banda transportadora	 Mover material transportándolo (mediante un mensajero)
Almacenamiento  Un triángulo representa almacenamiento, como	 Materia prima en algún almacenamiento masivo	 Producto terminado apilado sobre tarimas	 Archiveros para proteger documentación
Retrasos  Una letra D mayúscula indica un retraso, como	 Esperar un elevador	 Material en un camión o sobre el piso en una tarima esperando a ser procesado	 Documentos en espera a ser archivados
Inspección  Un cuadrado indica inspección, como	 Examinar material para ver si está bien en cuanto a cantidad y calidad	 Leer el medidor de vapor en el quemador	 Analizar las formas impresas para obtener información

Para la recolección de la información del proceso, se debe designar a un analista para que acompañe al producto a lo largo de este, para facilitar el trabajo del analista, se puede utilizar un formato, por ejemplo:

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

Descripción del proceso:

Realizado por:

Descripción de la operación:

Página 1 de 1	Método Actual		Método Propuesto		Fecha:	
Resumen	Operación	Trasporte	Almacenamiento	Retardo	Inspección	
Cant. Total						
Dist. Total						
Tiem. Total						

Ejemplo de un formato de recolección de información completado.

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

Descripción del proceso: Elaboración de una hamburguesa

Realizado por: Ing. Paola López

Descripción de la operación: Preparación de materia prima

Página 1 de 1		Método Actual			Método Propuesto		X	Fecha: 01/07/2026		
Resumen		Operación		Trasporte		Inspección	Almacenamiento		Retardo	
Cant. Total		2		4		1	2		0	
Dist. Total		0		3.5		0	0		0	
Tiem. Total		2.7		0.25		0.05	0.15		0	
No.	Descripción de la operación			Símbolos del diagrama			Distancia (m)	Tiempo en minutos	Observaciones	
1	Piezas de carnes almacenadas			○	→	▽	□	⌋		
2	Transferir a la parrilla			○	→	▽	□	⌋		
3	Cocción en la parrilla			●	→	▽	□	⌋		
4	Inspección visual			○	→	▽	□	⌋		
5	Transferir al anaquel			○	→	▽	□	⌋		
6	Almacenamiento temporal			○	→	▽	□	⌋		
7	Obtener panes, lechuga, etc			○	→	▽	□	⌋		
8	Reunir el pedido			●	→	▽	□	⌋		
9	Colocar en el anaquel final			○	→	▽	□	⌋		
10				○	→	▽	□	⌋		
Total				2	4	2	1	0	3.5	3.15

Distancia recorrida: esta información sólo se usa con el símbolo de transporte. La suma de esta columna es la distancia recorrida con cierto método. Esta columna es uno de los mejores indicadores de productividad. Para determinar la distancia desplazada, no es necesario que el analista mida cada movimiento de una manera precisa con una cinta o una regla. Se obtiene un valor lo suficientemente correcto si se analiza el plano de la planta o se realizan estimaciones con valores conocidos. Los desplazamientos de 1.5 metros o menores no se registran; sin embargo, pueden registrarse si el analista considera que afectan el costo total del método que se está graficando.

Tiempo: se debe indicar el tiempo que consume cada operación e inspección, además en el diagrama se deben incluir todos los retrasos, transportes y tiempos de almacenamiento. A medida que una parte permanezca más tiempo en almacenamiento, se transporta o se retrasa, mayor será el costo que acumule, así como el tiempo que el cliente tendrá que esperar para la entrega. Por lo tanto, es importante saber cuánto tiempo consume una parte por cada retraso, transporte o almacenamiento. El método más económico para determinar la duración de las actividades es con un cronómetro. Después es necesario verificar periódicamente la sección para ver cuándo entraron de nuevo a producción las partes marcadas. Se verifica un número de veces se registra el tiempo consumido y luego se promedian los resultados, y así, los analistas pueden obtener valores de tiempo suficientemente precisos.

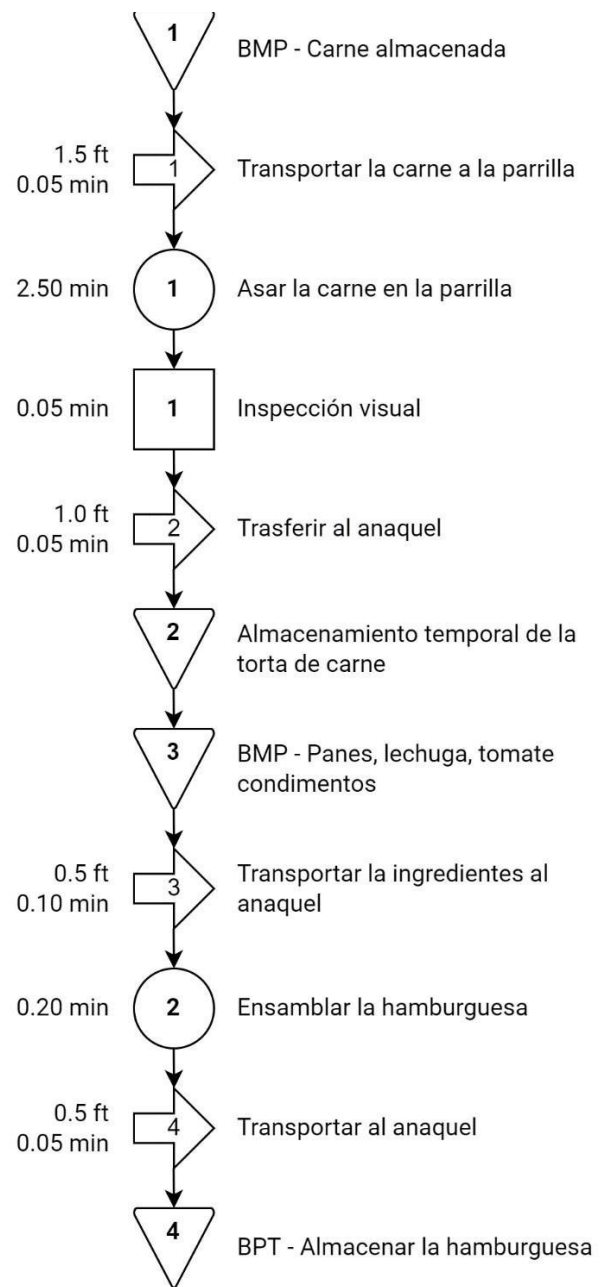
Una vez recolectada la información relevante, se construye el diagrama según el tipo que se esté trabajando. En el caso del diagrama de flujo de procesos se deben considerar todas las actividades recolectadas en la información anterior. Para el diagrama de operaciones únicamente se colocan las operaciones e inspecciones. El diagrama de recorrido contiene la misma información del diagrama de flujo de procesos, pero colocada sobre el plano de la infraestructura.

La eficiencia del proceso se puede determinar fácilmente dividiendo el tiempo productivo (tiempo total de las operaciones) dentro del tiempo total.

$$\text{Eficiencia del proceso} = \frac{\text{Tiempo total de operaciones}}{\text{Tiempo total del proceso}} \times 100\%$$

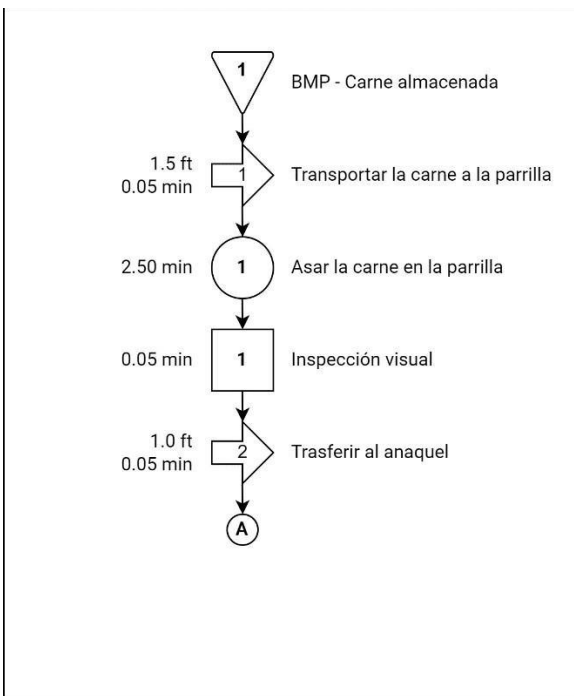
Las demoras, transportes, inspecciones y almacenamientos no añaden valor al proceso, por tanto se consideran actividades ineficientes.

Ejemplo de un diagrama de operaciones. Proceso de producción de hamburguesa del ejemplo anterior.

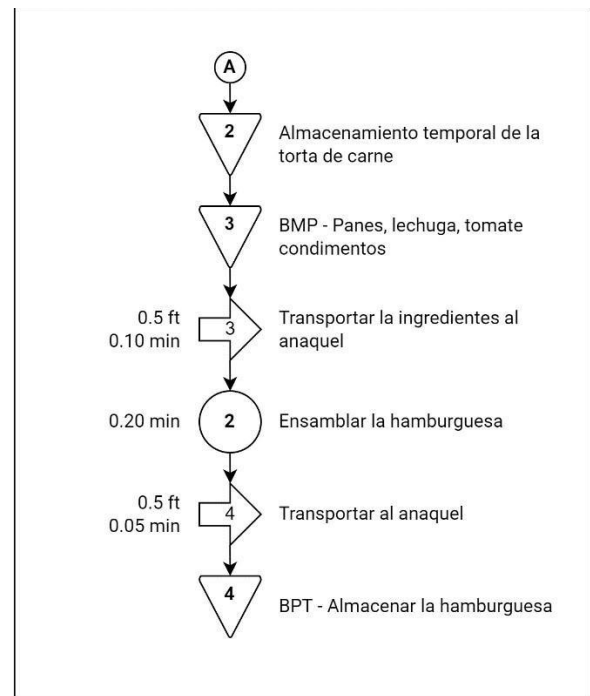


En el diagrama anterior, las distancias son menores a 1.5 m, sin embargo, el analista determinó que estas eran relevantes debido al proceso. Los diagramas de flujo de proceso pueden resultar muy extensos, dependiendo del proceso. No necesariamente existirán los 5 tipos de actividades, en el ejemplo anterior no se encuentran presentes demoras.

Los diagramas de procesos operativos se inician en la esquina superior derecha y se trabajan hacia abajo. En caso de que el diagrama se extienda y no alcance el espacio en la hoja se pueden utilizar conectores para continuar en la siguiente página. Los conectores son círculos de menor tamaño identificados con letras mayúsculas, de la siguiente manera:



Página 1



Página 2

Símbolos no oficiales: estos no forman parte de los diagramas de procesos operativos, pero pueden ayudar a especificar situaciones especiales, el incluirlos suele indicar que no se ha interpretado correctamente el proceso. Su uso no es recomendado, a menos que sea absolutamente necesario y justificado por el analista.



Se generó un registro.



Se tomó una decisión.



Se agregó información a un registro.

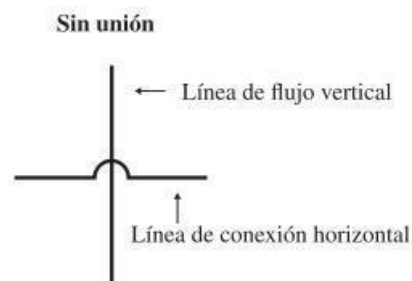
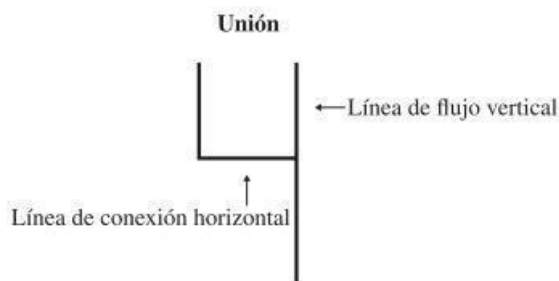


Se llevó a cabo una inspección en conjunto con una operación.

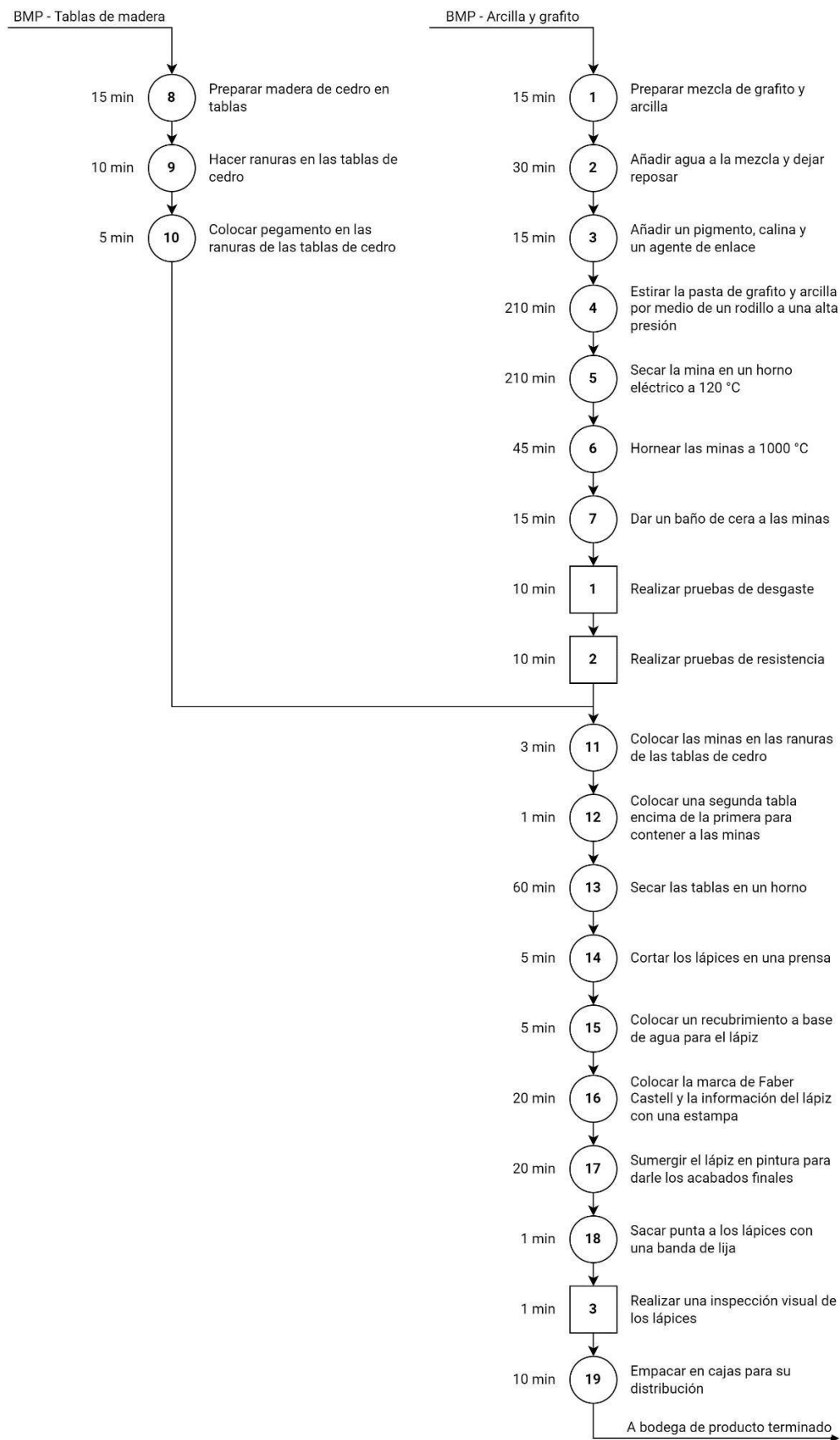


Una operación y un transporte se llevaron a cabo de manera simultánea.

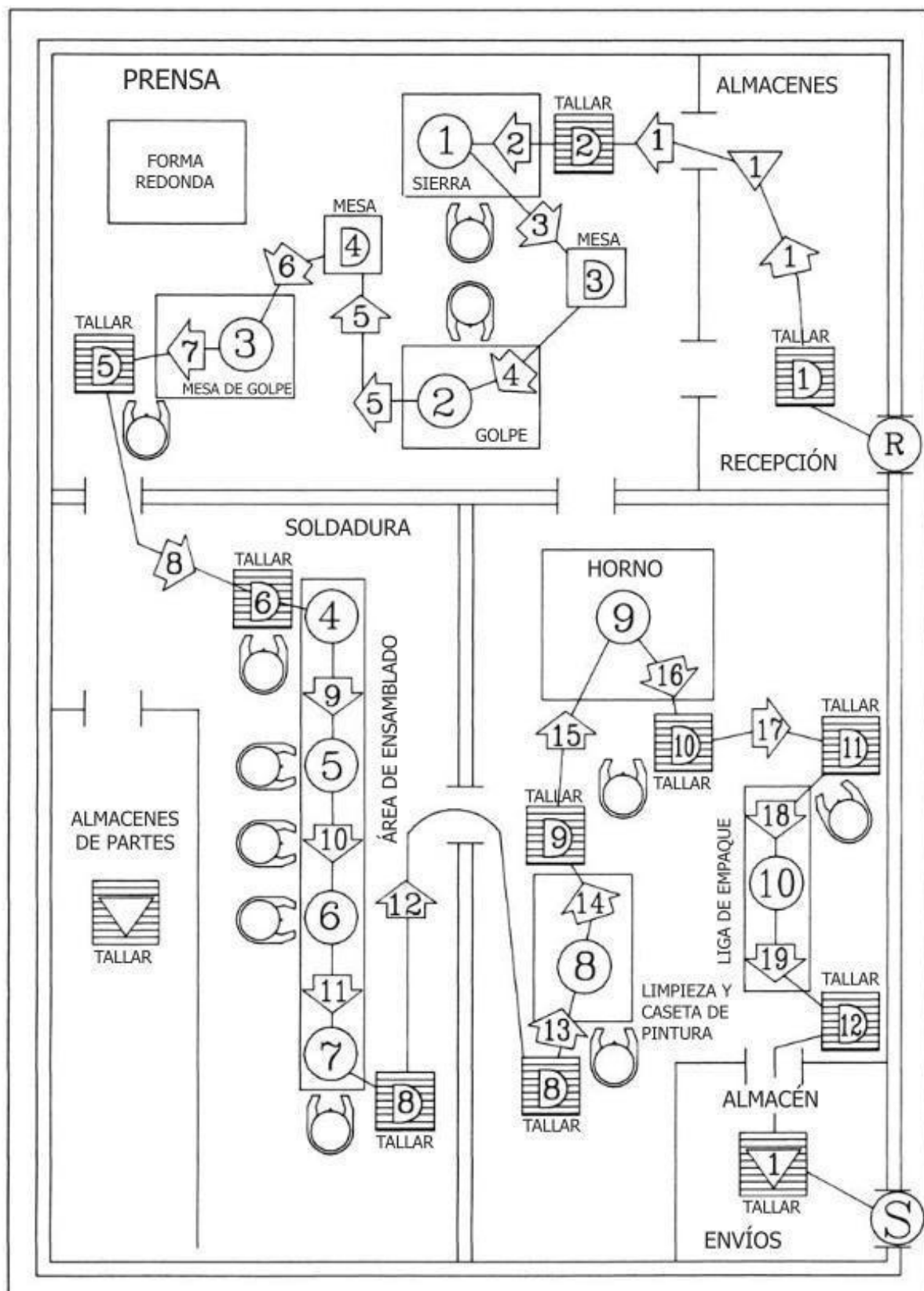
Representación de cruce de líneas: si el proceso se une o no.



Ejemplo de un diagrama de operaciones. Proceso de fabricación de lápices en *Faber Castell*.



Una vez realizado el diagrama de flujo de procesos, el diagrama de recorrido se construye colocando cada símbolo en un plano de la planta de producción. Para poderse interpretar, se debe observar en conjunto ambos diagramas. Ejemplo de un diagrama de recorrido.



Se debe tener presente que en algunas organizaciones no se respetan las convenciones de la construcción de estos diagramas y se debe observar la intención del analista al describir el proceso. El diagrama debe ser colocado dentro de un formato que identifique, por lo menos, la siguiente información:

- ✦ Organización a la que pertenece
- ✦ ✦ Descripción breve del producto
- ✦ Si es un método existente o propuesto
- ✦ Descripción breve del proceso
- ✦ Fecha de elaboración del diagrama
- ✦ Resumen del diagrama
- ✦ Responsable de la elaboración

El resumen del diagrama debe indicar la cantidad de actividades, el tiempo total por cada una y la distancia recorrida. En el caso del diagrama de flujo de proceso, este resumen incluye las cinco actividades principales, en el diagrama de operaciones de proceso se incluyen únicamente las operaciones e inspecciones. Por ejemplo:

Resumen			
Actividad	Cantidad	Tiempo	Distancia
Operación	25	212 min	2.4 m
Inspección	3	23 min	0 m
Transporte	6	36 min	67.9 m
Demora	2	88 min	0 m
Almacenamiento	3	10 min	0 m
Total	39	369 min	70.3 m

El análisis de los diagramas de procesos operativos conduce a obtener mejores distribuciones de la planta. Los objetivos del análisis de flujo son el aumento de la eficiencia y la eficacia y la reducción del costo. El análisis detallado del flujo de los materiales equipará al diseñador de la distribución con información crítica como:

1. Requerimientos de la operación
2. Necesidades de manejo de materiales
3. Necesidades de almacenamiento
4. Requerimientos de inspección
5. Razones de las demoras

Con esta información, el analista se enfrenta a:

1. Eliminar tantas etapas como sea posible
2. Combinar etapas
3. Reacomodar los equipos, para: a. eliminar el tráfico cruzado. b. eliminar los retrocesos. c. reducir la distancia de recorrido
4. Reducir los costos de producción en general

Para realizar los diagramas, se recomienda utilizar un software especializado, por ejemplo:



HOJA DE TRABAJO No. 4

Caso 1. Un analista de procesos da seguimiento al proceso de preparación de un cono de helado de una bola en una heladería ubicada en el *foodcourt* de un centro comercial, realice lo siguiente:

- ✦ Construya el diagrama de flujo de procesos
- ✦ Construya el diagrama de operaciones
- ✦ Construya el diagrama de recorrido
- ✦ Determine la eficiencia de proceso
- ✦ Proponga mejoras al proceso

Proceso: preparar un cono de helado de una bola
 Sujeto: dependiente del mostrador
 Principio: ir al área de almacenamiento de conos
 Final: entregar el cono al camarero o al cliente

Insertar paso

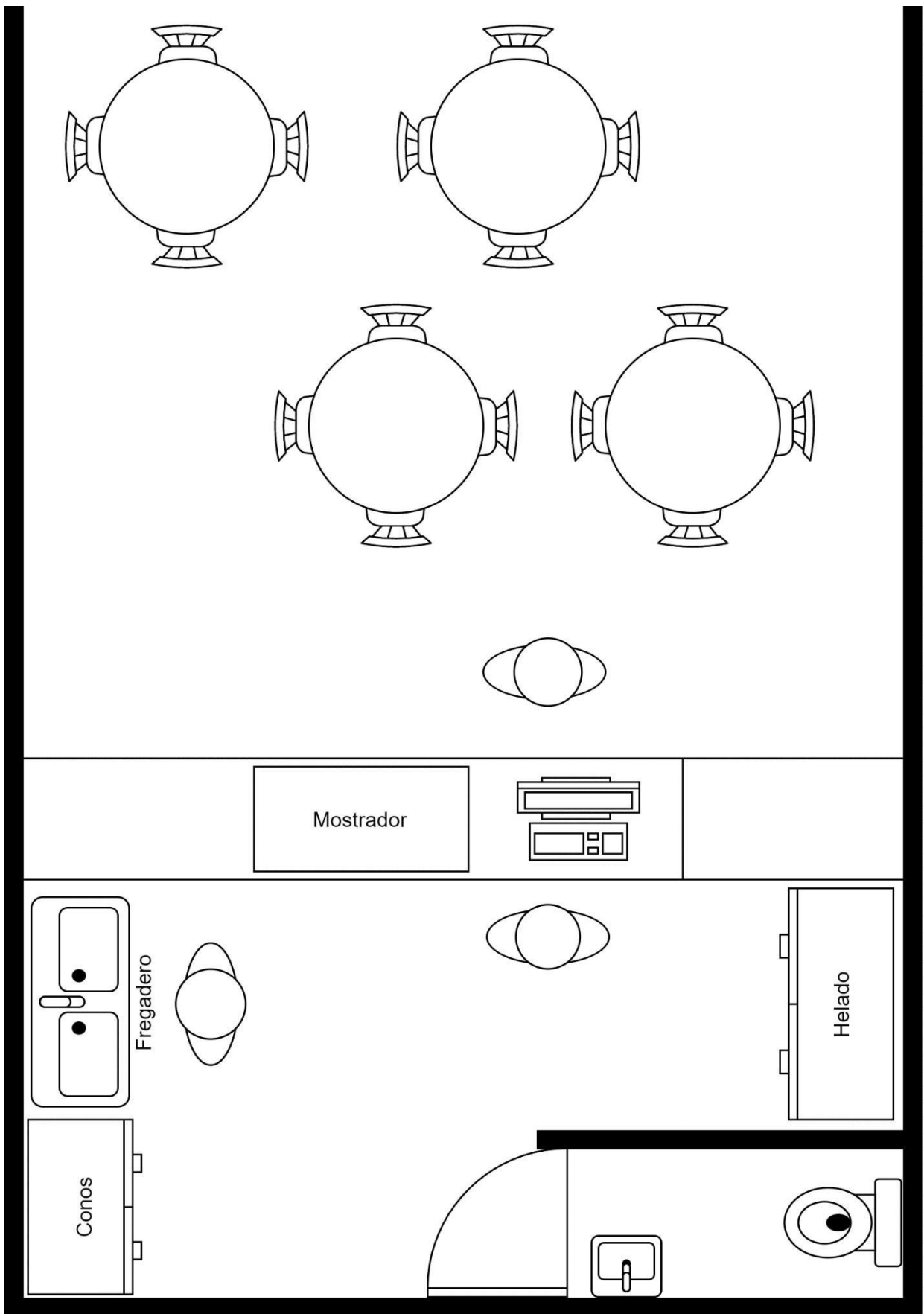
Adjuntar paso

Eliminar paso

Resumen

Actividad	Número de pasos	Tiempo (min.)	Distancia (pies)
Operación	●		
Transporte	➡		
Inspección	■		
Retraso	◐		
Almacenamiento	▼		

Núm. de paso	Tiempo (min.)	Distancia (pies)	●	➡	■	◐	▼	Descripción del paso
1	0.20	5.0		X				Caminar hacia el área de almacenamiento de conos
2	0.05		X					Sacar un cono vacío
3	0.10	5.0		X				Regresar al mostrador
4	0.05		X					Colocar el cono en el soporte
5	0.20	8.0		X				Caminar hacia el área del fregadero
6	0.50					X		Pedir al lavaplatos que lave la cuchara para servir helado
7	0.15	8.0		X				Caminar hacia el mostrador con una cuchara limpia
8	0.05		X					Recoger el cono vacío
9	0.10	2.5		X				Caminar hacia donde está el helado del sabor solicitado
10	0.75		X					Extraer con la cuchara el helado del recipiente
11	0.75		X		X			Poner la bola de helado en el cono
12	0.25							Comprobar que la bola de helada no se caerá del cono
13	0.05	2.5		X				Caminar hasta el área de pedidos
14	0.05		X					Entregar el cono al camarero o al cliente



Caso 2. Un analista de procesos da seguimiento al proceso de admisión de pacientes a la sala de urgencias de un hospital, realice lo siguiente:

- ✦ Construya el diagrama de flujo de procesos
- ✦ Construya el diagrama de operaciones
- ✦ Determine la eficiencia de proceso
- ✦ Proponga mejoras al proceso

Proceso:	admisión a la sala de urgencias
Sujeto:	paciente con una lesión en el tobillo
Principio:	entrada a la sala de urgencias
Final:	salida del hospital

Insertar paso

Adjuntar paso

Eliminar paso

Resumen			
Actividad		Número de pasos	Tiempo (min.) Distancia (pies)
Operación	●	5	23.00
Transporte	➡	9	11.00 815
Inspección	■	2	8.00
Retraso	⌒	3	8.00
Almacenamiento	▼	—	—

Núm. de paso	Tiempo (min.)	Distancia (pies)	●	➡	■	⌒	▼	Descripción del paso
1	0.50	15.0		X				Entrar a la sala de urgencias (SU), aproximarse a la ventanilla
2	10.00		X					Sentarse a llenar la historia clínica del paciente
3	0.75	40.0		X				La enfermera acompaña al paciente a la sala de evaluación de la SU
4	3.00				X			La enfermera examina la lesión
5	0.75	40.0		X				Regresar a la sala de espera
6	1.00					X		Esperar a que se desocupe una cama
7	1.00	60.0		X				Trasladarse hasta la cama de la SU
8	4.00					X		Esperar a que llegue el médico
9	5.00				X			El médico examina la lesión y le hace preguntas al paciente
10	2.00	200.0		X				La enfermera lleva al paciente a radiología
11	3.00		X					El técnico le toma una radiografía al paciente
12	2.00	200.0		X				Regresar a la cama asignada en la SU
13	3.00					X		Esperar a que el médico regrese
14	2.00		X					El médico comunica su diagnóstico y hace recomendaciones
15	1.00	60.0		X				Regresar al área de entrada del servicio de urgencias
16	4.00		X					Pagar la cuenta
17	2.00	180.0		X				Caminar hasta la farmacia
18	4.00		X					Recoger los medicamentos
19	1.00	20.0		X				Salir del edificio

Caso 3. Realice el diagrama de flujo de proceso, luego determine la eficiencia del proceso, considere que cada transporte toma 30 segundos y que la inspección pokayoke toma 0 segundos.

Método actual ☐

GRÁFICA DEL PROCESO

Método propuesto ☒OBJETO GRAFICADO Producción de eje para mesa FECHA 5/1/13GRAFICADO POR JHGRÁFICA NÚM. 1DEPARTAMENTO Célula de trabajo para eje de mesa HOJA NÚM. 1 de 1

DIST. EN PIES	TIEMPO EN MINS.	SÍMBOLOS UTILIZADOS EN LA GRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
50		○ → □ ▢ ▽	De la máquina de prensa a los contenedores de almacenamiento en la célula de trabajo
	3	○ → □ ▢ ▽	Contenedores de almacenamiento
5		○ → □ ▢ ▽	Movimiento a máquina 1
	4	● → □ ▢ ▽	Operación en máquina 1
4		○ → □ ▢ ▽	Movimiento a máquina 2
	2.5	● → □ ▢ ▽	Operación en máquina 2
4		○ → □ ▢ ▽	Movimiento a máquina 3
	3.5	● → □ ▢ ▽	Operación en máquina 3
4		○ → □ ▢ ▽	Movimiento a máquina 4
	4	● → □ ▢ ▽	Operación en máquina 4
20		○ → □ ▢ ▽	Movimiento a soldadura
	Poka-yoke	○ → □ ▢ ▽	Inspección poka-yoke en soldadura
	4	● → □ ▢ ▽	Soldar
10		○ → □ ▢ ▽	Movimiento a pintura
	4	● → □ ▢ ▽	Pintar
		○ → □ ▢ ▽	
97	25		TOTAL

BIBLIOGRAFÍA

1. Brito, J. E. (2006). *Diseño de Instalaciones de Manufactura Y Manejo de Materiales* (3.^a ed.). Pearson Educación.
2. Chase, R., & Jacobs, R. (2022). *Administración De Operaciones* (13.^a ed.). McGraw Hill Education.
3. Cuatrecasas, L. (2017). *Ingeniería de Procesos y de Planta: Ingeniería Lean* (1.^a ed.). Profit Editorial.
4. García, J. A. P., & Valencia, M. I. C. (2014). *Planeación, Diseño y Layout de Instalaciones* (1.^a ed.). Grupo Editorial Patria.
5. Nahmias, S. (2007). *Análisis de la producción y las operaciones* (5.^a ed.). Alianza Editorial.
6. Niebel, B., & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial: Métodos estándares y diseño del trabajo* (12.^a ed.). McGraw-Hill Education.
7. Render, B., & Heizer, J. (2013). *Principios De Administración De Operaciones - 9ª Edición* (9.^a ed.). Pearson Educación.
8. Urbina, G. B., Valderrama, M. C., Vázquez, I. M. A. C., Cruz, G. B., Matus, J. C. G., Espejel, A. A. P., González, A. E. R., & González, A. E. R. (2014). *Introducción a la Ingeniería Industrial* (2.^a ed.). Grupo Editorial Patria.
9. Ministerio de Trabajo y Previsión Social. (2014, 8 de agosto). *Acuerdo Gubernativo Número 229-2014: Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional*. Diario de Centro América. https://edu.mineduc.gob.gt/RRHH/documentos/Acuerdo/ACUERDO_GUBERNATIVO_229-2014.pdf