UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Diseño conceptual y oferta técnica de sistemas HVAC para procesos críticos en la industria farmacéutica

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Axel Salgado Marmolejo

ASESOR DE INFORME

Dr. Eduardo Pérez González

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2026

PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado DISEÑO CONCEPTUAL Y OFERTA TECNICA DE SISTEMAS HVAC PARA PROCESOS CRITICOS EN LA INDUSTRIA FARMACEUTICA que presenté para obtener el titulo de INGENIERO MECÁNICO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

AXEL SALGADO MARMOLEJO
Número de cuenta: 318154835

INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL

(Modalidad de Titulación)

Dedicatorias

- **A mis padres**, a ti Vero y Marcelo, porque ustedes son mis más grandes mentores, mis héroes y mis modelos a seguir. Todo se los debo a ustedes, me impulsaron y me han apoyado, en mi vida académica y en lo personal, han estado conmigo en las buenas y en las peores. A ustedes dedico este gran esfuerzo, porque no solamente me ha costado a mí, ustedes han padecido conmigo, las desveladas, las noches que llegaba triste por las dificultades en mi camino, en mis mejores días, en mis triunfos y en mis derrotas; son la gasolina del motor con la que he llegado hasta esta parte del camino y a ustedes les agradezco con mi más profundo cariño. Los amo con mi vida.
- **A mis hermanas,** Roxy y Abril, me es imposible regresar atrás, a cuando era sólo un niño con sueños, y no recordar lo presentes que han estado en mi vida. Hemos llevado la vida juntos y me sería imposible imaginarla sin ustedes. Este logro también va dedicado para mis hermanas porque quiero inspirarlas a continuar con sus sueños, abrirles el camino y decirles que al igual que yo, ellas también pueden cumplir las metas que se propongan, porque son las mujeres que desde pequeño me he enseñado a proteger y cuidar con mi vida, porque como hermano mayor me nace un instinto sinigual de preservarlas y amarlas como mis compañeras de hogar.
- **A mi novia,** a mi Esme, porque ha sido desde hace ya casi 4 años una presencia que revolucionó mi forma de vida, mi manera de pensar y mi manera de querer. A ti amor mío te dedico también este logro, porque estoy seguro de que, sin tu apoyo ni tu guía, no hubiera podido concretar esta meta. Agradezco las veces que te tomaste el tiempo de estudiar conmigo, de explicarme las cosas que no entendía y de hacerme ver con claridad en los momentos más nublados de mi cabeza. Estos años me han servido para conocer a la increíble mujer que eres, a quien amo con todo mi ser y quien me entrega su apoyo incondicional sin necesidad de haber un motivo especial. Esta meta la he cumplido contigo y deseo con el alma que las sigamos cumpliendo juntos.
- **A mis mascotas,** para Kiwi y Kally, mis dos perritos chihuahueños. A ustedes también les dedico este logro mis pequeños, que llegaron a nuestra vida precisamente cuando comencé la carrera. Con ustedes empecé y con ustedes terminé y me pone muy feliz que estén conmigo en este momento. Porque cuando tenía un mal momento ustedes me lo quitaban; con tan sólo verlos jugar y corretearse me hacen olvidarme por un rato de otros asuntos y lo único que deseo en ese momento es cargarlos y molestarlos para demostrarles mi cariño.
- **A mis abuelos,** Juan y Julia, quienes han partido ya de este mundo hace algunos años. Si desde alguna parte están leyendo esto, quiero que sepan que no me olvido de ustedes y están presentes en mi mente y en este camino, que les tocó recorrer conmigo desde un mejor ángulo, porque sé que hay dos ángeles cuidándonos en todo lugar.

ÍNDICE

1 Título del informe 5
2 Introducción y objetivo 5
3 Descripción de la empresa o medio en que laboré 7
3.1 Breve historia de la empresa 7
3.2 Puesto de trabajo y funciones desempeñadas 8
4 Antecedentes 9
5 Definición del problema o contexto de la participación profesional 13
6 Metodología utilizada 17
6.1 Requerimientos generales y de usuario 17
6.2 Desarrollo del diseño conceptual 21
6.2.1 Diferencial de presiones entre cuartos y filtraciones por rendijas 23
6.2.2 Dimensionamiento y clasificación de áreas 25
6.2.3 Balance de aire en el sistema 28
6.2.4 Elaboración de la carta psicrométrica y cálculo de capacidades reales 35
6.2.5 Selección basada en el cálculo de capacidades reales de equipos auxiliares 63
6.2.6 Configuración de la UMA y el VEXT 70
6.2.7 Elaboración del documento Requerimientos de los sistemas de usuario 83
6.2.8 Montaje de difusores, rejillas y diseño del sistema de ductería 89
6.3 Elaboración de la oferta presupuestal 105
6.3.1 Elaboración del *Catálogo de Conceptos* 106
6.3.2 Elaboración de la Carta de Presupuesto 108
6.3.3 Elaboración de la Portada Presupuestal 108
7 Resultados y aplicación profesional 113
7.1 Aplicación de conocimientos técnicos 113
7.2 Relación con proveedores y análisis de costos 113
7.3 Diagnóstico en sitio y adecuación de soluciones 114
7.4 Trabajo colaborativo e integración de áreas 114
7.5 Aportaciones personales destacadas 114
7.6 Validación e impacto profesional 115
8 Conclusiones 116

9 Bibliografía 118
10 Anexos 120

1 Título del informe

Diseño conceptual y oferta técnica de sistemas HVAC para procesos críticos en la industria farmacéutica

2 Introducción y objetivo

Durante mi estancia en la empresa Eolis América Latina me desarrollé en el departamento de Eolis FARMA, dicha compañía es líder nacional para sistemas HVAC[1] e instalaciones llave en mano para la industria Farma[2], teniendo como condiciones clave los cuartos limpios, design-build[3] y proyecto turnkey[4], enfocándose en áreas críticas y producción, principalmente de productos farmacéuticos y biotecnológicos. Dentro de este departamento me desempeñé como becario proyectista en el área de "Estudios", participando activamente en el desarrollo de proyectos orientados a ofrecer soluciones técnicas efectivas, eficientes y sostenibles en materia de acondicionamiento de espacios. Estos proyectos se diseñan a partir de criterios de segregación y control de la calidad del aire, con estricto apego a normativas nacionales e internacionales aplicables. Este enfoque exige un conocimiento preciso y actualizado de la normativa vigente que regula las condiciones ambientales en plantas del sector farmacéutico (*NOM-059-SSA1-2015 y la FEUM*), dado que dichas instalaciones requieren ambientes controlados que garanticen la inocuidad, esterilidad y seguridad de los procesos productivos. Dentro de este contexto, mi labor implicó participar en la elaboración del análisis y la aplicación de dichos lineamientos, contribuyendo así al diseño de soluciones que cumplen con los más rigurosos estándares de calidad en esta industria.

El presente informe tiene como finalidad exponer detalladamente las actividades en las cuales me desarrollé, ya sea de forma directa o en colaboración con mis compañeros del área, dentro de diversos proyectos solicitados por algunas de las compañías farmacéuticas más relevantes que cuentan con plantas de producción y/o desarrollo ubicadas en distintas regiones del país. A través de esta exposición, pretendo demostrar de forma sólida las competencias adquiridas a lo largo de mi formación como ingeniero, evidenciando la correcta aplicación de los conocimientos teóricos y prácticos desarrollados durante mi trayectoria académica. Para ello, mi objetivo es presentar las actividades más significativas realizadas durante un periodo de un semestre calendario, haciendo énfasis en cómo dichas acciones permitieron poner en práctica habilidades técnicas, analíticas y de trabajo colaborativo, orientado al cumplimiento de la normativa vigente y estándares de calidad, así como las necesidades específicas de cada cliente. Con este informe busco dejar constancia del ejercicio profesional que desempeñe, así

---

[1] Siglas en inglés, usadas en la industria para referirse a los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (Heating, Ventilation and Air Conditioning).
[2] Abreviatura en inglés que se utiliza para referirse al sector farmacéutico.
[3] Término que se refiere a la modalidad en la que un solo contratista realiza el diseño y la construcción del proyecto.
[4] Proyecto que se entrega al cliente listo para operar, sin requerir trabajo adicional.

como de mi capacidad para afrontar retos reales dentro de la industria, realizándose en todo momento con responsabilidad, criterio técnico, compromiso y honestidad.

Es importante destacar que en cada una de las actividades en las que participé fue indispensable aplicar las competencias y aptitudes adquiridas durante mi formación profesional como ingeniero. Desde el primer día de labores, los conocimientos desarrollados a lo largo de mi carrera —y alineados con el perfil de egreso correspondiente a mi campo de profundización— fueron puestos a prueba. El diseño de sistemas HVAC implica la integración de múltiples ramas y disciplinas de la ingeniería; en particular, para el desarrollo de una ingeniería conceptual y básica, es indispensable haber adquirido una sólida formación en las áreas de termodinámica, mecánica de fluidos y transferencia de calor. Dichos conocimientos permiten comprender desde los principios fundamentales de generación y transferencia de energía térmica —por conducción, convección y radiación— hasta el análisis de aspectos más avanzados relacionados con los sistemas HVAC. Entre estos se incluye el estudio detallado de la psicrometría y sus variables asociadas, el cálculo de caídas de presión en redes de distribución de aire y en sistemas de tuberías para el suministro de agua caliente o helada, así como la configuración óptima de unidades manejadoras de aire conforme a los requerimientos específicos del espacio a acondicionar, además de los volúmenes de aire exterior, retorno y extracción de acuerdo con los diferenciales de presión entre salas. Asimismo, resulta indispensable calcular con precisión la capacidad real de equipos como humidificadores, deshumidificadores, serpentines de enfriamiento, bancos de resistencias, unidades generadoras de agua helada, unidades de expansión directa, intercambiadores de calor, etc. Con el fin de garantizar un desempeño eficiente y rentable conforme a las condiciones de diseño establecidas.

El motivo por el cual me interesé en formar parte de esta empresa fue por el de comenzar a aplicar mis conocimientos desde un enfoque cien por ciento práctico, y así poner a prueba las capacidades y aptitudes desarrolladas durante mi formación profesional en el área de ingeniería mecánica. Mi interés en esta disciplina no se limita únicamente a su vinculación directa con el campo de profundización que elegí, sino que también radica en su carácter integral y colaborativo, ya que requiere constantemente el trabajo con equipos multidisciplinarios, involucrando áreas como la ingeniería industrial, el control y la automatización, entre otras. Esta característica representa un reto profesional significativo, al exigir no solo la aplicación de conocimientos específicos del área de especialización, sino también la integración de competencias adquiridas en otras ramas de la ingeniería mecánica, todas ellas orientadas al cumplimiento de objetivos comunes dentro de un entorno industrial altamente exigente.

3 Descripción de la empresa o medio en que laboré

3.1 Breve historia de la empresa

Eolis América Latina S.A.P.I. de C.V. Forma parte del grupo español COMSA Corporación a través de su división COMSA Industrial.

Es una empresa líder regional en el diseño, construcción y validación de espacios de producción y sistemas críticos para las industrias más exigentes, concretamente farmacéutica, industrial y textil. Fue fundada en México en 1967 bajo el nombre de Aero Técnica S.A. de C.V. en Monterrey, Nuevo León, posteriormente se trasladó hacia Puebla en 1973, cambiando su nombre a Luwa México y finalmente en 2010 fue adquirido por Grupo COMSA, cambiando nuevamente de nombre a Eolis América Latina.

Con 35 años de experiencia en sistemas de tratamiento de aire para la industria, de los cuales 20 años son enfocados a la farmacéutica, ha participado en los proyectos de construcción de plataformas farmacéuticas realizadas por la compañía, así como la estandarización e implementación de ingenierías[5], que a la fecha permiten cumplir más allá de los requerimientos que solicita la industria farmacéutica.

Actualmente, Eolis cuenta con distintas localidades; en la ciudad de Puebla, se encuentra la planta de manufactura, la cual se dedica a producir unidades manejadoras de aire, intercambiadores de calor, compuertas, ductos, soportería, etc. En la Ciudad de México y Guadalajara se encuentran las oficinas en las cuales el personal se dedica a la ejecución de proyectos recibiendo primero los requerimientos del usuario, técnicos y regulatorios, para posteriormente atravesar las etapas de ingeniería conceptual, básica (estructural y funcional), detalle y finalmente los documentos y respaldo de construcción. Por su parte, la sede ubicada en la ciudad de Plano, Texas (Estados Unidos), tiene como objetivo estratégico expandir la presencia de la compañía en el mercado norteamericano. Esta oficina opera como centro de gestión y operación para el desarrollo de proyectos en Estados Unidos y Canadá, brindando atención directa a clientes de la región y facilitando la ejecución de soluciones integrales de acondicionamiento conforme a los estándares internacionales que rigen dichos mercados. (Eolis América Latina, 2025)

Misión: En Eolis todos tenemos como objetivo común el entregar a la industria instalaciones mecánicas (HVAC, fluidos, control, cuartos limpios, etc.) para sus procesos, de calidad internacional y de un nivel de confiabilidad mayor al que se encuentra en el mercado. Somos un referente en el medio industrial y queremos seguir siéndolo.

Estamos enfocados en la satisfacción de nuestros clientes, comprometidos con nuestro personal, nuestros accionistas, nuestros proveedores y el ambiente que nos rodea.

[5] paquetes completos de diseño técnico de un sistema de climatización.

Visión: Queremos seguir creciendo. Desarrollaremos negocios en más mercados, tanto aplicativos como geográficos. Nos apoyaremos en certificaciones, métodos sistemáticos y herramientas tecnológicas, mejorando e innovando, sin dejar nada de lo que somos en el camino. Nuestra gente siempre estará en el centro de nuestras preocupaciones.

Valores:

- Ética, respeto
- Experiencia, responsabilidad
- Calidad, confiabilidad
- Flexibilidad, reactividad
- Comunicación, trabajo en equipo
- Entusiasmo, orgullo.

3.2 Puesto de trabajo y funciones desempeñadas

Durante mi estancia en el área de Estudios Farma, colaboré activamente en proyectos de ingeniería conceptual y básica, orientados al diseño de sistemas HVAC para procesos críticos en la industria farmacéutica. Entre mis principales responsabilidades se encuentran las siguientes:

- Colaboré activamente en la selección, cálculo y especificación técnica de equipos y materiales, con base en los requerimientos del cliente, las condiciones de diseño y la normativa aplicable. Como resultado de estas actividades, integré soluciones eficientes mediante el desarrollo de ofertas técnicas atractivas, sustentada en catálogos de conceptos y documentación técnica de soporte, lo que permitió estructurar propuestas viables y competitivas para cada proyecto.

- Uno de los principales productos generados durante mi participación fue desarrollar y estructurar propuestas técnico-económicas, enfocadas en la cuantificación, análisis de costos y formalización de la oferta. Esta actividad incluyó la elaboración de catálogos de conceptos con costos actualizados constantemente y la preparación de documentación soporte para la presentación de la propuesta ante el cliente, con fines de evaluación y aprobación.

- Intervine en la elaboración de la ingeniería conceptual, conforme a mi criterio como proyectista y bajo la supervisión directa de mi jefe inmediato. Esta etapa dio como resultado cálculos preliminares aplicados a escenarios realistas, tales como la implementación de análisis de cargas térmicas, clasificación de áreas, definición de presiones diferenciales, así como el trazo inicial del recorrido de ductería y el dimensionamiento de equipos de acondicionamiento principales.

- Mi participación consistió en la identificación y documentación de los requerimientos técnicos, normativos y del usuario, necesarios para evidenciar el cumplimiento de cada proyecto. Este trabajo se realizó poniendo especial atención en los aspectos críticos que permitieron validar la viabilidad de la propuesta y su conformidad con normativas aplicables, como la NOM-059-SSA1-2015 y la FEUM.

- Finalmente, la consolidación de las actividades realizadas, así como la validación de la documentación correspondiente, me dieron como resultado elaborar el insumo principal para la ejecución del proyecto. Esta documentación, trabajada de mi parte y en conjunto con el jefe de desarrollo comercial, fue enviada como base para iniciar formalmente el proceso de implementación.

4 Antecedentes

La decisión que conlleva implementar el acondicionamiento del aire en uno o más espacios, en la actualidad, ya no es una cuestión opcional ni dependiente de un alto poder adquisitivo, sino que ahora es una necesidad crítica, y esta idea se torna con más fuerza en el contexto de la industria farmacéutica. Este sector está caracterizado por operar con estrictos estándares de calidad, higiene y control, debido a que sus procesos (ya sea de desarrollo, producción, embalaje, almacenamiento, etc.) deben garantizar la pureza, seguridad y eficacia de los productos que se elaboran. Por lo tanto, hoy en día es imprescindible para las industrias dedicadas a este giro contar con un sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC, por sus siglas en inglés) con el cual se asegure el cumplimiento de las normativas nacionales e internacionales para la buena fabricación de productos farmacéuticos y biotecnológicos.

Para comenzar, todo diseño de un sistema de tratamiento de aire implica tener presente y conocer de manera precisa la normativa vigente por la que se rige la industria en cuanto a la producción farmacéutica. En el caso de nuestro país, existe una entidad la cual está encargada de regular y vigilar los medicamentos, incluyendo su registro sanitario, fabricación, comercialización y publicidad, con el objetivo de que se le brinden al consumidor productos seguros, eficaces y de calidad: la COFEPRIS[6]. Surgió el 5 de junio de 2001 respondiendo a la necesidad de contar con un organismo técnico especializado en concentrar y fortalecer las funciones de regulación, control y vigilancia sanitaria, especialmente ante el crecimiento de sectores como el farmacéutico, alimentario y cosmético, los cuales requieren mayor supervisión para proteger la salud pública.

Este organismo tiene una presencia fundamental en la regulación de la producción y comercialización de medicamentos, ya que evalúa y autoriza su registro sanitario antes de ser

[6] Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios.

distribuidos en el país. Por ello, supervisa que las empresas cumplan con las GMP[7] y exige el cumplimiento de otras normas, como la FEUM[8], un documento oficial que establece estándares de calidad, pureza, potencia e identidad que deben cumplir los medicamentos, materias primas, productos biológicos, suplementos alimenticios y dispositivos médicos comercializados en México; además de realizar recorridos de inspección para verificar que dichas normativas sean cumplidas.

En cuanto a la producción, la COFEPRIS establece los requisitos técnicos para instalaciones, equipos, procesos y sistemas críticos, como los sistemas HVAC, ya que estos influyen directamente en la calidad del producto. En este sentido, la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SSA1-2015, Buenas Prácticas de Fabricación de Medicamentos (Secretaría de Salud, 2015), resulta un referente esencial. Esta norma establece los requisitos mínimos necesarios para el proceso de fabricación de medicamentos para uso humano, tanto los comercializados como aquellos con fines de investigación, y es de observancia obligatoria para todos los establecimientos dedicados a la fabricación, acondicionamiento, almacenamiento y distribución de medicamentos en territorio nacional.

La NOM-059-SSA1-2015 (Secretaría de Salud, 2015) tiene como propósito asegurar que los medicamentos sean fabricados bajo condiciones controladas que garanticen su calidad, seguridad y eficacia. Para lograrlo, introduce el concepto de Sistema de Gestión de Calidad, el cual comprende todas las medidas planificadas y sistematizadas para asegurar que cada etapa del proceso de fabricación cumpla con los estándares establecidos. Dentro de este sistema, la norma enfatiza la gestión de riesgos de calidad, la documentación adecuada, la validación de procesos y la calificación de los sistemas críticos, entre los cuales el sistema HVAC es uno de los más importantes, debido a su influencia directa sobre el control ambiental y la búsqueda de erradicar aspectos indeseables, cómo la contaminación cruzada y, el aseguramiento de otros, cómo la pureza del producto.

El apartado 8 del documento, sobre la norma ya mencionada, está referido a instalaciones y equipo, y se establece que las áreas de producción deben diseñarse, construirse y mantenerse de forma que se reduzca al mínimo el riesgo de error, contaminación y cualquier efecto adverso en la calidad del producto. En el caso de los sistemas HVAC, la normativa dispone que estos deben garantizar condiciones adecuadas de temperatura, humedad, presión diferencial y filtración del aire (por rendijas de puertas, ventanas, pasos de banda, etc.), en concordancia con la clasificación de las áreas detalladas en el Apéndice A Normativo (ver en sección 10 Anexos), donde se definen los criterios para las áreas de fabricación de productos estériles y no estériles.

---

[7] Buenas Prácticas de Manufactura (Good Manufacturing Practices).
[8] Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos.

Dicha clasificación considera parámetros como el número máximo permitido de partículas viables y no viables en el ambiente, los flujos de aire, la dirección del aire entre áreas de distinta clasificación y las presiones diferenciales requeridas para evitar la contaminación cruzada. La norma también establece que debe existir un programa de monitoreo ambiental permanente, que evalúe continuamente la carga de partículas y microorganismos, y que los resultados de dicho monitoreo sean registrados y analizados conforme al Sistema de Gestión de Calidad de la planta.

En el documento se contemplan aspectos como la adecuada higiene del personal, el diseño de las áreas de producción, la validación de procesos, el control de contaminantes, así como la correcta documentación y trazabilidad de cada lote de producción. En este sentido, el control ambiental cobra una relevancia importante, ya que el aire que se suministra a las áreas de fabricación debe responder a la clasificación de cada espacio y a los parámetros establecidos para garantizar su uso previsto.

Por su parte, la FEUM (Secretaría de salud, 2020) señala que la función esencial del sistema HVAC es mantener la calidad y pureza del producto, además de favorecer el adecuado desarrollo de los procesos y las actividades del personal. Para ello, las áreas en las que los medicamentos están expuestos deben ser ambientes controlados que apliquen medidas de segregación y de control del aire, para permitir la reducción de partículas totales como microorganismos viables.

De esta manera, un área destinada a la producción de fármacos no estériles requiere condiciones ambientales diferentes a aquellas dónde son elaborados productos estériles, ya sea mediante procesos asépticos o de esterilización terminal. Para lograrlo, los mecanismos de remoción y control de contaminantes en el aire se llevan a cabo en varias etapas de manera integrada y consisten en mantener cada variable dentro de los límites establecidos en el diseño del sistema, el cual está basado en un análisis de riesgo del producto y del proceso. Dicho análisis permite considerar que los principales contaminantes en el aire ambiental pueden clasificarse en partículas viables (microorganismos), partículas no viables (polvo, fibras u otras partículas totales), así como en la presencia de vapor de agua u otras sustancias extrañas que pueden comprometer la integridad del producto farmacéutico.

El diseño de cualquier sistema de tratamiento de aire tiene el objetivo de cubrir tres aspectos principales: la protección del producto, del personal y del medio ambiente (**figura 2**). Por otra parte, para el cumplimiento exitoso de los requerimientos y especificaciones del cliente, resulta fundamental realizar un análisis riguroso que permita identificar la alternativa más viable para atender su situación en particular. Esto implica la solicitud de una visita de campo en la cual se pueda llevar a cabo la recopilación de información técnica relevante para la elaboración del proyecto, mediante actividades cómo levantamientos, observaciones, toma de fotografías, juntas con los representantes de la compañía, entre otras que sean de utilidad.

Este plan de acción permite obtener un panorama más completo y detallado que sirve como base para la toma de decisiones durante el desarrollo del diseño de acondicionamiento, especialmente en la etapa de cálculos y dimensiones.

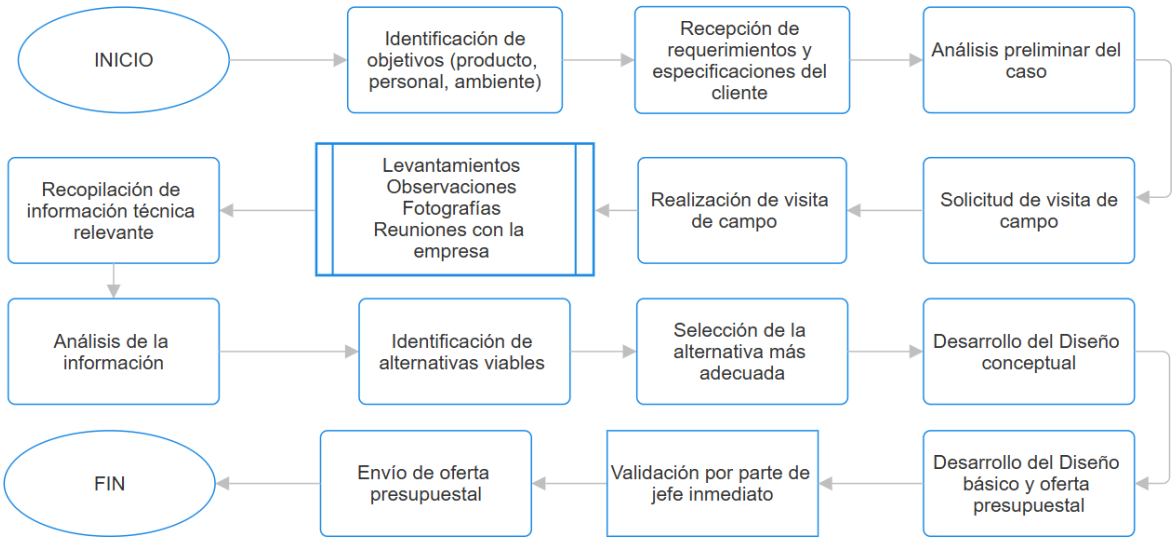


Figura 1: Diagrama de flujo que explica mi participación directa en la elaboración de un proyecto en su etapa conceptual

Este proceso es clave para definir qué tipo de equipos son más convenientes de instalar, ya que se deben tomar en cuenta los espacios que el cliente defina como disponibles para colocar cualquier unidad requerida, así como los servicios existentes en planta, tales como suministro eléctrico, sistemas de calefacción o de enfriamiento, entre otros. De esta forma, se cuenta con un respaldo técnico sólido más accesible para el criterio del diseñador en cuanto a proponer soluciones eficientes y duraderas, alineadas al presupuesto del cliente y orientadas al menor consumo energético posible. Además, este sistema de atención permite mantener un canal de comunicación directo con los responsables del proyecto en estas compañías, lo cual fortalece la confianza del cliente al percibir un enfoque profesional, comprometido y especializado. Así, se consolida la percepción de que contratar los servicios de esta empresa representa una decisión rentable, tanto en términos de confiabilidad y durabilidad como de eficiencia técnica y económica.

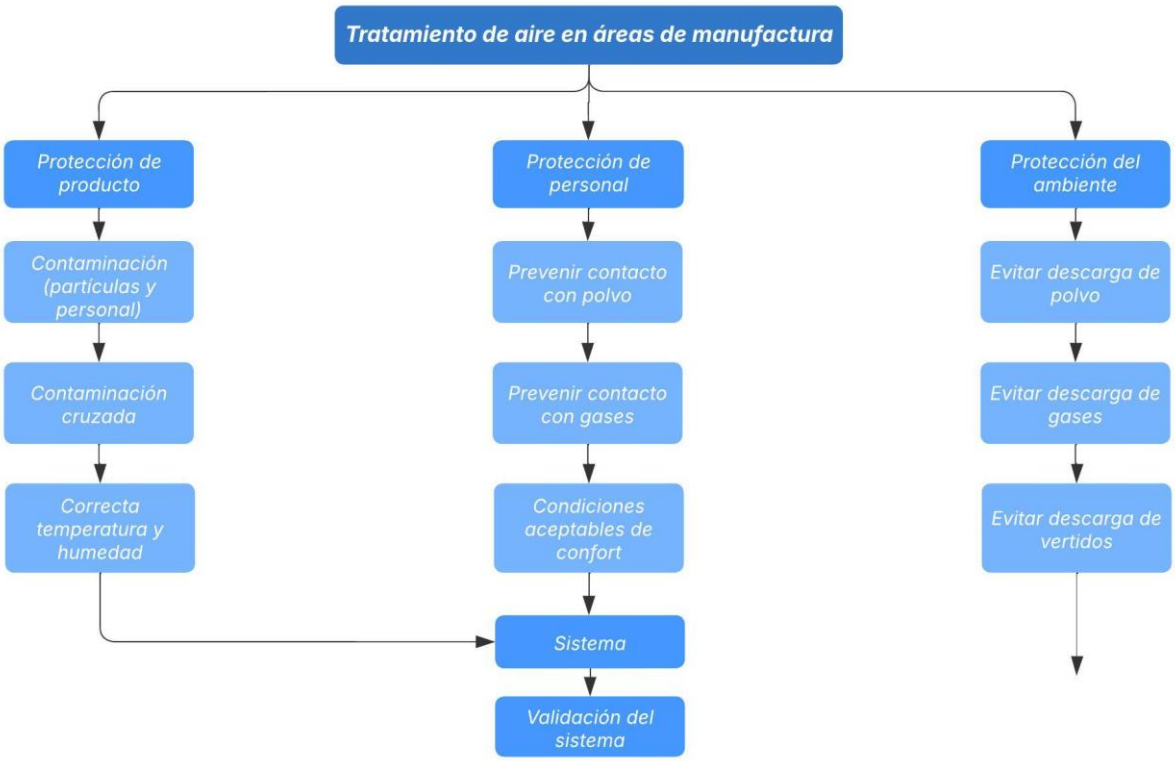


Figura 2: Mapa conceptual acerca del objetivo de todo sistema de tratamiento de aire en áreas de producción. (Rodríguez, 2020)

5 Definición del problema o contexto de la participación profesional

5.1 Objetivo general del área de trabajo

El departamento de Estudios Farma tiene como objetivo principal el desarrollo de ingeniería conceptual y básica para sistemas HVAC aplicados a procesos críticos en la industria farmacéutica. Su función es definir soluciones técnicas viables que aseguren el cumplimiento de requerimientos del cliente tomando como partida las regulaciones vigentes y condiciones operativas específicas, sirviendo como base para la elaboración de propuestas técnico-económicas y la posterior ejecución de los proyectos.

Entendiendo como ingeniería, o propiamente diseño conceptual, la etapa inicial del desarrollo del sistema HVAC en la cual se integra la información obtenida del análisis de los requerimientos del cliente, del proceso productivo y de las condiciones del sitio, con el objetivo de definir una solución técnica viable que garantice el control ambiental, la protección del producto y el cumplimiento normativo. En esta etapa se establecen los criterios generales de diseño, tales como la clasificación de áreas, condiciones ambientales, presiones diferenciales y esquemas de flujo de aire, así como la definición preliminar de la distribución de áreas, esclusas y dispositivos de transferencia.

A partir de estos criterios se realizan los cálculos iniciales de cargas térmicas y se define la estructura general del sistema HVAC, incluyendo el dimensionamiento preliminar de equipos, el trazado de ductería y la ubicación de elementos terminales, generando la base técnica para el desarrollo del diseño básico y la elaboración de la propuesta presupuestal.

Lo que constituye la ingeniería o diseño básico es la continuidad de las bases establecidas durante el diseño conceptual, en una etapa donde se desarrollan y consolidan los cálculos de generación y distribución de aire, consumos energéticos y el dimensionamiento de los equipos principales y sus accesorios. Esta información se estructura con el objetivo de definir una solución técnica más precisa, dejando el proyecto preparado para la etapa posterior de ingeniería de detalle, en la cual se integrarán los recursos económicos y constructivos necesarios para materializar el proyecto de manera realista. (Secretaría de salud, 2020)

5.2 Funciones específicas asignadas

Durante mi actividad profesional participé en diversas funciones técnicas y de apoyo, entre las que se incluyeron:

- La actualización y supervisión de costos unitarios de productos y servicios HVAC, derivada de variaciones en factores de mercado como inflación, tipo de cambio y costos de materias primas. Esta labor implicó la revisión de cotizaciones históricas y recientes, consultar información en el servidor interno, la comunicación con otros departamentos y la solicitud directa de cotizaciones a proveedores, así obtuve mantener actualizado el catálogo de conceptos y las hojas base de precios.

- El apoyo en la elaboración de ingeniería conceptual, particularmente en el cálculo de dimensiones de difusores de suministro y rejillas de extracción y/o retorno, considerando caudales requeridos, dimensiones de los espacios, criterios de velocidad máxima del aire y disponibilidad comercial de los equipos.

- El cálculo de caídas de presión en ductería para distintos proyectos, tomando en cuenta pérdidas por fricción en accesorios y ramificaciones, así como su integración a sistemas de recolección de polvo y ventilación especializada.

- La cuantificación y cotización de materiales y equipos de HVAC, lo que incluye tubería para sistemas hidrónicos[9] de enfriamiento y calefacción, válvulas, accesorios, ductería y lámina, empleando herramientas de software especializado y modelos de navegación 3D para asegurar precisión en las estimaciones.

- La elaboración y estructuración de presupuestos (Budget[10]) para proyectos en distintas etapas, desde ingeniería conceptual hasta invitaciones a licitación,

[9] Conjunto de equipos y tuberías diseñado para transportar y regular agua u otro fluido térmico con el fin de climatizar espacios mediante procesos de calefacción o enfriamiento.

[10] Elaboración de una cotización para cliente en modalidad exprés, en la cual se omiten detalles minuciosos.

integrando información técnica, catálogos de conceptos y cotizaciones de proveedores.

5.3 Interacción con otros departamentos

El desarrollo de mis actividades implicó una interacción constante con otros departamentos de la empresa, así como con proveedores externos. Esta interacción se dio principalmente para:

- La obtención y validación de cotizaciones actualizadas.
- El intercambio de información técnica y comercial necesaria para la elaboración de propuestas.
- La revisión conjunta de documentación presupuestal con el área de desarrollo comercial.

Adicionalmente, participé en dinámicas internas de trabajo en equipo, donde se promovió la asignación de pares entre personal con mayor experiencia y colaboradores en formación, con el objetivo de fortalecer el aprendizaje técnico y mejorar la eficiencia en la ejecución de proyectos.

5.4 Flujo general de participación en proyectos

El flujo general de mi participación en los proyectos desarrollados en el área de Estudios Farma se encuentra representado en la **figura 1**, adjuntada previamente. Dicho diagrama de flujo describe la secuencia estandarizada de las actividades que conforman el desarrollo de un proyecto y como lo fui adaptando, desde mi perspectiva, a mi forma de trabajar partiendo desde la identificación de requerimientos hasta culminar con la emisión de la oferta presupuestal. Con base en este flujo, mi participación se concentró en etapas clave que requirieron análisis técnico, interacción directa con el cliente y toma de decisiones fundamentadas en criterios de ingeniería.

Una de las primeras etapas en las que participé activamente fue la realización de visitas de campo, las cuales se llevaron a cabo en distintas plantas farmacéuticas y sitios en desarrollo destinados a convertirse en áreas de producción de medicamentos.

Durante estas visitas se efectuaron levantamientos físicos de las áreas, recopilación de información arquitectónica y de servicios, toma de evidencias fotográficas, así como reuniones técnicas con personal responsable de operaciones para clarificar alcances, restricciones operativas y necesidades específicas del proceso. La información obtenida en campo constituyó un insumo fundamental para la correcta definición de los criterios de diseño del sistema HVAC.

Posteriormente, participé en la recopilación y análisis de la información técnica derivada tanto de las visitas de campo como de la documentación proporcionada por el cliente. Esta etapa incluyó la revisión de planos arquitectónicos, diagramas de proceso, fichas técnicas y regulaciones normativas aplicables, con el objetivo de identificar condiciones críticas que se vieran reflejadas en el diseño, tales como clasificación de áreas, requerimientos de presiones diferenciales, condiciones ambientales de operación y restricciones de dimensionamiento.

A partir de dicho análisis, intervine en la identificación y evaluación de alternativas técnicas viables, considerando distintos esquemas de distribución de aire, selección de equipos y estrategias de control ambiental. Estas alternativas fueron evaluadas en conjunto con otros proyectistas responsables, hasta definir la solución más adecuada en términos técnicos, normativos y económicos.

Una vez definida la alternativa seleccionada, participé en el desarrollo del diseño conceptual del sistema HVAC, el cual incluyó el recorrido preliminar de ductos e instalación de difusores y rejillas, el dimensionamiento inicial de equipos de acondicionamiento, la definición de criterios de operación y la integración de los principales elementos del sistema. Esta información sirvió como base para la elaboración del diseño básico y para la cuantificación de materiales y equipos.

Finalmente, mi participación se extendió a la elaboración de la oferta presupuestal, integrando la información técnica generada en etapas previas con los costos actualizados de equipos, materiales y servicios. Esta documentación fue validada interna y posteriormente utilizada como base para la presentación de la propuesta al cliente y para el inicio formal del proceso de implementación del proyecto.

5.5 Alcance y límites de mi participación

El alcance de mi participación se centró en las etapas de ingeniería conceptual, apoyo a la ingeniería básica y elaboración de propuestas técnico-económicas. Asimismo, participé activamente en visitas de campo, levantamientos arquitectónicos y reuniones técnicas con clientes, actividades que resultaron fundamentales para la correcta definición de alcances, la identificación de restricciones reales y la validación de información para el desarrollo de los proyectos.

Durante estas visitas, contribuí en la recopilación de información técnica, la identificación de equipos existentes, la evaluación de condiciones operativas y la documentación fotográfica, aspectos que fueron considerados posteriormente en la elaboración de la ingeniería conceptual y las ofertas técnicas.

Es importante señalar que, si bien participé activamente en la definición técnica y económica de los proyectos, la ejecución en campo, la toma de decisiones finales y la validación oficial de las propuestas estuvieron a cargo de los responsables del área y del equipo directivo correspondiente.

La asistencia a exposiciones, conferencias, capacitaciones y visitas a planta complementaron mi formación profesional, permitiéndome adquirir una visión integrada del sector farmacéutico, así como fortalecer el entendimiento de las necesidades reales de los proyectos HVAC en entornos críticos.

6 Metodología utilizada

6.1 Requerimientos generales y de usuario

A partir de esta sección, se establece que se considerará únicamente la metodología aplicada en el desarrollo de un proyecto en particular, con el fin de delimitar la especialización y concentrar el análisis en el objetivo y desarrollo de dicho proyecto.

De acuerdo con estos alcances, el proyecto seleccionado es el de una empresa ubicada en C. Morelos No. 51, Cuajimalpa, Cuajimalpa de Morelos, 05010 Ciudad de México, cuyo giro es proveer de maquinaria, equipo para proceso y acondicionamiento a diferentes industrias, quien especificó que requería de un sistema HVAC para acondicionar un proceso de blisteado en su planta principal.

En toda propuesta, invitación a una licitación, o en general el requerimiento de una empresa por hacer una modificación o un área nueva en su proceso productivo, es esencial la participación del cliente de principio a fin en el desarrollo y ejecución de su proyecto.

Para comenzar, cuando la empresa es invitada a participar en una propuesta de proyecto, esta se canaliza y se hace llegar al jefe de Desarrollo Comercial del departamento de Farma, quien en este momento tiene a su cargo también el área de Estudios. Posteriormente, se asigna a un proyectista para iniciar la revisión del proyecto, atendiendo directamente los requerimientos establecidos o, en su caso, las necesidades específicas del cliente. Dichos requerimientos se clasifican en tres categorías principales: requerimientos del usuario, requerimientos técnicos y requerimientos regulatorios.

Para el caso de este proyecto en particular, la información se hizo llegar al Ing. Daniel Juárez quien se encargó de asignarme el proyecto para dar resolución a las demandas del cliente.

En primera instancia, los requerimientos del usuario se enfocan en poner atención al tipo de productos que se fabricarán y en los procesos necesarios para su obtención. Para los productos se consideran aspectos como la forma farmacéutica, las especificaciones de calidad —incluyendo contenido microbiológico, presencia de partículas, porcentaje de humedad

relativa y riesgos de contaminación química—. En cuanto a los procesos, se analizan las etapas críticas dónde el producto en proceso puede presentar desviaciones no deseables, así como el grado de control requerido para asegurar que cumpla con sus especificaciones con un método seguro y consistente. Además, deben evaluarse el volumen de producción, los tiempos de proceso, la maquinaria a utilizar, el número de personal involucrado, los materiales requeridos y cada etapa del procedimiento, generando un documento de ingeniería con toda la información respaldada en referencias. De forma paralela, se establecen las medidas de seguridad y salud ocupacional necesarias para proteger al personal en cada etapa, junto con un plan de manejo y disposición adecuada de los desechos generados, priorizando su minimización, control, captura y contención.

Por su parte, los requerimientos técnicos se relacionan con los servicios auxiliares e instalaciones arquitectónicas que necesita cada componente principal del sistema y sus accesorios. Esto incluye basamentos, construcciones especiales, mecanismos de soporte, y su ubicación, ya sea en interiores protegidos o en exteriores. También se consideran las necesidades de energía eléctrica especial, servicios hidráulicos o neumáticos, así como las especificaciones de consumo estimado. De igual manera, se identifican los módulos de control o sistemas computarizados, sus servicios asociados y los espacios especiales requeridos para garantizar una operación segura. Finalmente, se definen las dimensiones, conexiones, accesos y áreas necesarias para la operación y mantenimiento de los equipos, cuidando la seguridad y control de acceso a dichas instalaciones.

En cuanto a los requerimientos regulatorios, estos se encuentran definidos por las normas y reglamentos que deben cumplirse en todas las etapas del proyecto, especialmente durante la operación del sistema y la fabricación de productos, en concordancia con las Buenas Prácticas de Fabricación. No obstante, también deben considerarse las disposiciones aplicables a la construcción, instalación y manejo del sistema desde la perspectiva industrial, ecológica y de seguridad del personal. Asimismo, es fundamental contemplar el mercado al que se destinarán los productos, considerando la normatividad vigente y aplicable en la región o país que llevarán a cabo su comercialización.

Para el caso de este proyecto, el producto terminado resulta en el blisteado y empacado en cajas corrugadas de tabletas, cápsulas o cualquier forma farmacéutica sólida obtenida mediante la compresión de polvo o llenado de ingredientes. Otro tipo de especificaciones se muestran en la tabla 1, destacando el personal operario, requerimientos del sistema HVAC y los procesos presentes dependiendo del tipo de área.

PROYECTO: ÁREA DE ACONDICIONADO BLISTEADO Y EMPAQUE COLECTIVO
ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

FECHA: 28 DE ENERO DE 2025

Descripción	Largo [m]	Ancho [m]	Alto [m]	Área [m^2]	Clase Área	kW, V220 3 Fases	No. Operarios	Agua Fría	Agua Caliente	Aire Comprimido	Lámpara LED
Área Blisteado	7.01	3.31	2.63	23.2031	CLASE D (ISO CLASE 8)	15	2	Si	No	Si	6-60 W
	5.65	1.62	2.63	9.153							
Esclusa Materiales Blisteado	2.49	1.58	2.4	3.9342		0		No	No	No	1-25 W
Esclusa Personal Blisteado	2.15	1.06	2.4	2.279		0		No	No	No	1-18 W
Área Lavado	2.08	1.7	2.4	3.536		0	1	Si	Si	Si	2-25 W
Esclusa Área de Lavado	1.4	1.7	2.4	2.38		0		No	No	No	1-18 W
Área de Empacado Colectivo	4.14	3.22	2.4	13.3308	ISO CLASE 9	2	4	No	No	Si	3-40 W
Pasillo	3.2	3	2.4	9.6		0		No	No	No	4-18 W
Esclusa Personal Encantornado	2.49	1.37	2.4	3.4113		0		No	No	No	1-25 W
Esclusa Materiales Almacén	1.33	1.43	2.4	1.9019		0		No	No	No	1-18 W
			Total m^3	181.992223							

Nota:
Blistera no requiere colección de polvo
Piso de concreto revestido con piso epóxico o vinil
Ductería deberá ser tipo espiroducto

Tabla 1: Requerimientos iniciales del cliente

De acuerdo con especificaciones adicionales proporcionadas por el cliente, se estableció que los equipos de tratamiento de aire se ubicarían en el exterior del edificio, específicamente en el espacio localizado en el lado izquierdo del plano, área que tendría que destinarse como área técnica. Asimismo, se definió que la trayectoria de los ductos principales se desarrollaría a través del pasillo ubicado en la parte superior del área perteneciente a la máquina blisteadora[11]. En cuanto al tipo de ductos, se solicitó que, en la medida de lo posible, fueran del tipo espiroducto[12][13]. Para el proceso de calefacción del aire, el cliente indicó que se requería del suministro e instalación de un generador de agua caliente y, de manera complementaria, el correspondiente sistema de tuberías que permitiera su distribución. Respecto al sistema de control, el cliente indicó que no era necesario implementar un control

[11] Máquina utilizada para el envasado de productos mediante la formación y sellado de blísteres, generalmente compuestos por cavidades termoformadas y un recubrimiento de lámina sellable, garantizando protección y presentación del producto.
[12] Conducto de aire con sección transversal circular utilizado en sistemas de manejo de aire.
[13] Tomé la decisión de cambiar al implemento de ducto rectangular luego de llegar a un acuerdo con el cliente, ya que aspectos como una instalación más sencilla y un costo menor lo hicieron una mejor opción.

computarizado, sino que bastaba con un sistema de control convencional, stand alone, basado en dispositivos electromecánicos y electrónicos básicos (como termostatos, higrómetros y paneles de control manuales). Esto significa que no se requiere la integración de un software de supervisión o de un sistema automatizado de gestión centralizada, sino únicamente un control local y directo de los parámetros de temperatura y humedad.

EOLIS

CALCULO DE FLUJO DE AIRE EN PUERTAS

Cliente: Empresa de empaque farmacéutico **Edificio:** Planta Baja
Obra: HVAC **Área:** Blisteado
Ubicación: Cd. de México, CDMX **Sistema:** UMA-BLISTEADO
Densidad: **0.92** [kg/m³] **PROY:/C.P.:** P25FARMA3717

Revisión	Elaboró	Fecha	Revisó	Fecha	Aprobó	Fecha
JUZ	SMA	08/07/25				

Nº	Tipo de Puerta	Tamaño Puerta Ancho [m]	Tamaño Puerta Alto [m]	Perimetro [m]	Dimensión de Ranura Inferior [m]	Dimensión de Ranura Superior [m]	Dimensión de Ranura Lateral [m]	Dimensión de Ranura Central [m]	Area Libre Ranuras [m²]	ΔP [Pa]	Velocidad aire en Ranura [m/s]	Flujo de Aire en Ranuara [m³/h]	Observaciones
1	Sencilla	0.85	2.20	6.10	0.005	0.003	0.003	-	0.020	**6**	3.604	**260**	
2	Sencilla	0.85	2.20	6.10	0.005	0.003	0.003	-	0.020	**12**	5.097	**370**	
3	Sencilla	0.85	2.20	6.10	0.005	0.003	0.003	-	0.020	**18**	6.243	**450**	
4	Sencilla	0.85	2.20	6.10	0.005	0.003	0.003	-	0.020	**24**	7.209	**520**	
5	Sencilla	0.85	2.20	6.10	0.005	0.003	0.003	-	0.020	**30**	8.060	**590**	
1	Doble	1.45	2.20	9.50	0.005	0.003	0.003	0.003	0.031	**6**	3.604	**410**	
2	Doble	1.45	2.20	9.50	0.005	0.003	0.003	0.003	0.031	**12**	5.097	**580**	
3	Doble	1.45	2.20	9.50	0.005	0.003	0.003	0.003	0.031	**18**	6.243	**710**	
4	Doble	1.45	2.20	9.50	0.005	0.003	0.003	0.003	0.031	**24**	7.209	**820**	
5	Doble	1.45	2.20	9.50	0.005	0.003	0.003	0.003	0.031	**30**	8.060	**920**	
1	Paso de Banda	0.25	0.15	-	-	-	-	-	0.038	**6**	3.604	**490**	
2	Paso de Banda	0.23	0.10	-	-	-	-	-	0.023	**12**	5.097	**430**	
3	Paso de Banda	0.23	0.10	-	-	-	-	-	0.023	**18**	6.243	**520**	
4	Paso de Banda	0.23	0.10	-	-	-	-	-	0.023	**24**	7.209	**600**	
5	Paso de Banda	0.23	0.10	-	-	-	-	-	0.023	**30**	8.060	**670**	

Figura 3: Hoja de cálculo para el cálculo de flujo de aire en puertas

Respecto a los requerimientos regulatorios, el cliente hizo énfasis desde un principio que su proceso debía cumplir la NOM-059-SSA1-2015, observando también en la tabla 1 que necesitaba tener un entorno controlado bajo las clasificaciones ISO 8 e ISO 9 según lo indicado en dicha norma.

Además, es importante resaltar que, al mantener comunicación directa con el cliente, se nos permitió realizar la visita a las instalaciones de su planta de producción con el objetivo de realizar un levantamiento con el que pudiéramos orientarnos para dar un dimensionamiento adecuado de los espacios disponibles, así como observar con más detalle las áreas que se iban a acondicionar, así como el área técnica para la instalación de posibles unidades a proponer. En adición a ello, el cliente también se encargó de enviar un plano de la planta y las áreas contenidas en ella para realizar las adecuaciones necesarias en el desarrollo del proyecto.

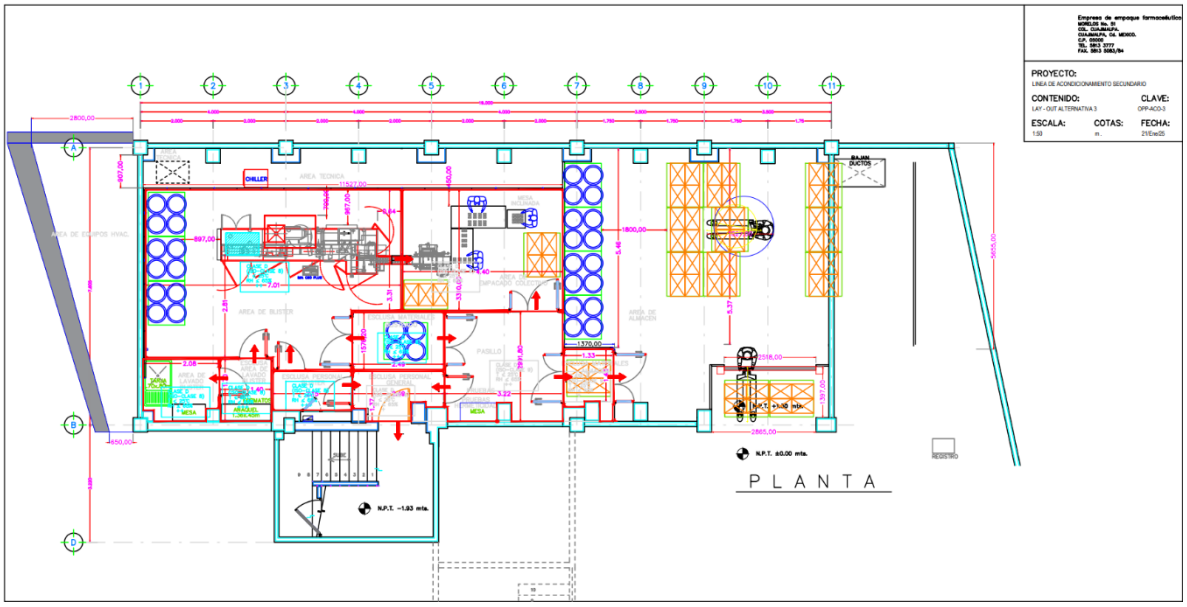


Figura 4: Plano principal de la zona de blisteado

6.2 Desarrollo del diseño conceptual

Para el desarrollo de esta primera etapa del diseño se debe tomar en cuenta íntegramente la información que se generó en el análisis previo de los requerimientos para posteriormente comenzar a plantear soluciones enfocados en satisfacer los requisitos planteados en ellos. Basándose en dicha información y sus elementos se comienzan a plantear alternativas de la distribución de áreas y sus dimensiones, estableciendo las condiciones ambientales para cada área, se revisa la interrelación entre ellos y se describe la información en las fichas técnicas de las áreas.

Para el desarrollo de esta etapa del proyecto se dispone de una herramienta fundamental para el cálculo y balance de aire en cada habitación, de acuerdo con las condiciones específicas de la planta, el cual es el *Roombook*. Este documento corresponde a una hoja de cálculo en la que se encuentran previamente integradas todas las formulaciones necesarias, evitando la realización manual de los cálculos y optimizando significativamente el tiempo requerido para la elaboración de la propuesta presupuestal, permitiendo un envío más oportuno al cliente. En su primera sección, la carátula debe completarse con los datos generales del cliente, así como con la selección de la ubicación geográfica del proyecto. Este último aspecto es relevante, ya que la altitud sobre el nivel del mar determina la densidad del aire, parámetro que será empleado a lo largo del desarrollo del proyecto. Igualmente, se consideran el calor específico del aire y un valor de ΔT establecido, el cual fija el límite máximo permitido de diferencia entre la temperatura del aire de retorno al sistema y la del aire de suministro.

Adicionalmente, en la carátula se registran las iniciales del proyectista responsable de la elaboración del proyecto, así como las del jefe inmediato, quien cuenta con la autorización

para otorgar el visto bueno tanto de la ingeniería como del presupuesto, junto con la fecha oficial de inicio del proyecto. En este caso, las iniciales correspondientes al proyectista son *SMA*, mientras que las del jefe inmediato son *JUZ*. La fecha de inicio del desarrollo de este proyecto fue el 8 de julio de 2025.

Basado en un procedimiento interno y para dar cumplimiento a la ISO-9001 referente a la gestión de calidad, se asigna un número de PROY de tal manera que la elaboración de proyectos se mantenga organizada. El caso de este proyecto fue el P25FARMA3717.

EOLIS

ROOMBOOK

Cliente:	Empresa de empaque farmacéutico	**Edificio:**	Planta Baja	Densidad	0.924 [kg/m³]	Revisión	Elaboró	Fecha
Obra:	HVAC	**Área:**	Blisteado	CP	1.006 [kJ/kg K]	JUZ	SMA	08/07/25
Ubicación:	Cd. de México, CDMX	**Sistema:**	UMA-BLISTEADO	ΔT	10 [K]			
		PROY:/C.P.:	P25FARMA3717					

Figura 5: Sección de datos del proyecto

Tras recibir digitalmente el plano en CAD por parte del cliente, se realizó un análisis detallado del entorno, relacionándolo directamente con la información obtenida durante la visita de levantamiento de la planta. Se comenzó a visualizar la posible instalación del sistema de ductos, considerando ciertas limitaciones relacionadas con la obra civil, como la ubicación del área técnica, la presencia de vigas y el espacio disponible entre el techo y el plafón. Una vez realizado este análisis preliminar —que retomaré más adelante— procedí a la zonificación de las clases de aire de acuerdo con los requerimientos del cliente, cotejando con lo establecido en la NOM-059 y en el suplemento 13.2 de la FEUM.

En este contexto, realicé la clasificación, utilizando como herramienta un software CAD, como **Clase D (ISO-8)** (Secretaría de Salud, 2015) los cuartos no estériles en destinados a trabajar con sólidos y podrían generarse partículas de polvo, incluyendo el área de empacado colectivo, un pasillo, la esclusa de personal general y la esclusa de materiales del almacén. Por otra parte, se clasificaron como **ISO-9** (Secretaría de Salud, 2015) los cuartos secundarios que no requieren control de la humedad relativa del aire, incluyendo el área de blister, la esclusa de materiales del blisteado, la esclusa de personal de blister, la esclusa del área de lavado de blister y el área de lavado de blister.

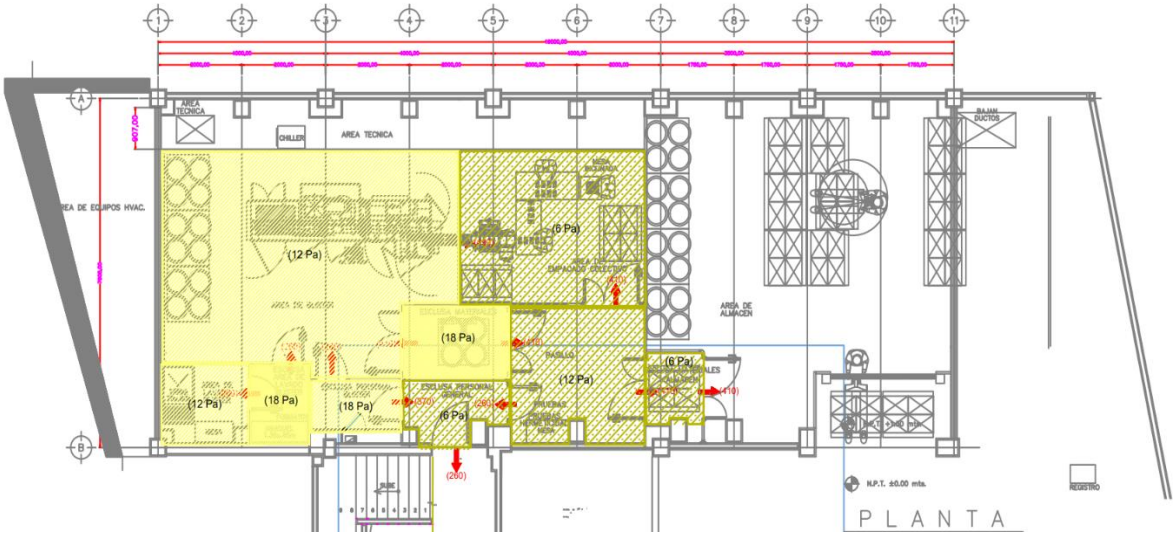


Figura 6: Clasificación de áreas de acuerdo con el Apéndice A normativo de la FEUM

6.2.1 Diferencial de presiones entre cuartos y filtraciones por rendijas

Una vez que clasifiqué cada cuarto conforme a las normativas aplicables, procedí a establecer la diferenciación de presiones entre ellos. Este procedimiento consistió en asignar una presión a cada área con el propósito de generar una barrera física procurando evitar fugas o filtraciones de aire, de tal manera que se puedan proteger a los cuartos con alto nivel de esterilidad. Para ello, una sala con una clasificación más limpia es mantenida a una presión superior respecto una con un menor control, buscando que cualquier fuga de aire siga una trayectoria en cascada hacia las zonas de menor limpieza. Con esta estrategia se previene la contaminación cruzada y se garantiza mitigar el ingreso de partículas no deseadas en áreas asépticas o de mayor control.

Retomando el tema de las filtraciones por fugas, cuando se presenta un sistema real resulta imposible prescindir de ellas por completo, ya que, en la mayoría de los casos, las instalaciones cuentan con puertas (sencillas, dobles o corredizas), cortinas, pasos de banda y pasamuros. Estos elementos al no estar sellados de una manera hermética presentan rendijas que permiten la infiltración del aire desde un cuarto con mayor presión hacia otro con menor. Al determinar la presión diferencial entre cuartos, también se consideran los tipos de infiltraciones posibles con respecto a las áreas colindantes, haciendo que se mitiguen las fugas hacia salas con un mayor nivel de control.

Un ejemplo claro es el de una esclusa. Cuando esta se diseña con dos cuartos adyacentes a mayor presión, se genera un ***flujo en pozo***, ya que dichas áreas vencen la presión interna de la esclusa, quedando el aire contenido dentro de esta. En contraste, si la esclusa se diseña con una presión superior a la de los cuartos que la rodean, se produce un flujo en burbuja, pues el aire tiende a salir hacia los lados, ocasionando una pérdida de volumen de aire. Finalmente, en el caso en que la esclusa se encuentra entre un cuarto con mayor presión y otro con menor

presión, se establece un ***flujo en cascada***, permitiendo que el aire transite de un área de mayor presión, atraviese la esclusa y desemboque en la zona de menor presión.

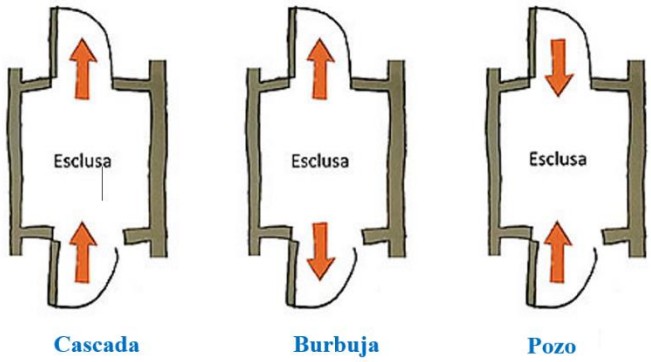


Figura 7: Tipos de flujos de aire con base en la diferencia de presión entre 2 recintos con una puerta de por medio

El método para calcular infiltraciones de aire por rendijas en puertas se basa en la presión dinámica, la cual representa la energía asociada al movimiento de un fluido. Matemáticamente, proviene del término cinético de la ecuación de Bernoulli:

$$P_{dinámica} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \qquad \textbf{E.1}$$

dónde:

ρ	densidad del aire kg/m³
V	velocidad del aire (m/s)

Dicho componente refleja la capacidad de un fluido en movimiento (en este caso aire) para ejercer presión debido a su velocidad. Cuanto mayor sea la velocidad, mayor será la presión dinámica generada.

Despejando la velocidad, obtenemos la velocidad de presión:

$$V_p^2 = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\rho}} \qquad \textbf{E.2}$$

Algo que resulta fundamental para calcular el caudal de fugas por rendijas. Se considera el diferencial de presiones entre cuartos. Finalmente, la velocidad se determina de la siguiente manera:

$$V^2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \qquad \textbf{E.3}$$

Siendo ΔP la diferencial de presión entre 2 salas con una puerta intermedia. Es decir, si un cuarto tiene 12 Pa y el cuarto siguiente tiene 6 Pa, por consecuencia ΔP resultará de 6 Pa.

Posteriormente, para calcular con un resultado preciso las dimensiones dónde se filtrará el aire, se consideraron las mediciones obtenidas durante el levantamiento en campo o, en su caso, las dimensiones previamente estandarizadas del ancho y alto de las ranuras. Con esta información, se determina el área correspondiente a cada ranura en función de las dimensiones de la puerta y, finalmente, se realiza la sumatoria de todas las superficies, obteniendo así el área total de infiltración de aire.

Para el cálculo final de caudal de aire que pasa a través de ranuras utilizamos el principio del caudal volumétrico, el cual es igual al producto de la velocidad del fluido por el área de paso: Q= V·A, este principio se basa en la definición misma de caudal, que representa el volumen de aire que atraviesa una sección determinada en un tiempo dado. Si un fluido se desplaza con velocidad v a través de una superficie A, el volumen que recorre por unidad de tiempo está vinculada exactamente a ese producto, ya que cada metro cuadrado de área permite el paso de un flujo que se mueve a una velocidad determinada. Aplicando esta relación al caso de las ranuras, el caudal de infiltración se obtiene multiplicando la velocidad de presión calculada previamente por la suma del área total de las ranuras a través de las cuales se infiltra el aire, permitiendo cuantificar el flujo de aire que atraviesa las puertas entre cuartos con distinta presión.

En la **figura 8** se muestra un extracto del documento *Roombook,* el cual muestra la manera en cómo se obtuvo el cálculo de caudal de infiltraciones por rejillas, realizándose en una hoja de cálculo con una formulación ya establecida con base en lo revisado anteriormente, diseñada de esta forma con el propósito de agilizar el tiempo de procesamiento. Una vez determinados estos flujos, se incorporaron en el plano en CAD con el fin de identificar las infiltraciones por puertas, información que se empleará en etapas posteriores del proyecto.

6.2.2 Dimensionamiento y clasificación de áreas

Después de haber definido los flujos de aire por infiltraciones en ranuras, el siguiente aspecto relevante implicó considerar las dimensiones reales de cada uno de los cuartos que están destinados a acondicionarse. Dichas dimensiones se encuentran representadas en el plano CAD y, a partir de esta información, con apoyo del propio software se determinaron las áreas y las alturas libres (considerando ya el plafón instalado). Posteriormente, en el *Roombook* se

registró la clasificación de aire previamente definida para cada cuarto. La hoja de cálculo está configurada para mostrar automáticamente las condiciones de temperatura, humedad relativa, con los valores mínimos y máximos de cambios de aire por hora que corresponden a cada categoría establecida, con base en dicha clasificación, obtenida del Apéndice A Normativo. Asimismo, se incorporaron las presiones asignadas a cada sala, las cuales también habían sido determinadas previamente.

Cliente:	Empresa de empaque farmacéutico	**Edificio:**	Planta Baja	Densidad	0.924
Obra:	HVAC	**Área:**	Blisteado	CP	1.006
Ubicación:	Cd. de México, CDMX	**Sistema:**	UMA-BLISTEADO	ΔT	10
		PROY:/C.P.:	P25FARMA3717		

Base de cálculo de cuartos.

Cuarto					Demandas								Cargas Sensible				Volumen de aire			
					Condiciones.				Limpieza				Enfriamiento			Calef.				
					Mínimo		Máximo										Cálculo flujo de aire [m³/h]			
Identificación	Nombre	Área Total	Altura Libre	Volumen total	Temperatura de aire dentro del cuarto	Humedad del Aire dentro del cuarto	Temperatura del Aire dentro del cuarto	Humedad del Aire dentro del cuarto	Clase de aire según NOM-059-SSA1-2015	Presión de cuarto	Cambios de Aire [C/h] Ver nota 1		Calor Externo	Calor Interno	Calor Total	Perdidas Externas				
No.		[m²]	[m]	[m³]	[°C]	%H.R.	[°C]	%H.R.		[Pa]	Mín.	Máx.	[W]	[W]	[W]	[W]	Por Cambios de aire por hora Mín.	Máx.	Por ΔT (Verano)	Por Presión
1	ÁREA DE BLISTER	31.29	2.63	82.3	18	30	25	65	Clase D (ISO 8)	12	10	20	239	5165	5404	-526	823	1,646	2,094	
2	ESCLUSA MATERIALES BLISTER	3.96	2.63	10.4	18	30	25	65	Clase D (ISO 8)	18	10	20	30	62	93	-67	104	208	36	920
3	ESCLUSA PERSONAL BLISTER	2.32	2.40	5.6	18	30	25	65	Clase D (ISO 8)	18	10	20	18	37	54	-39	56	111	21	730
4	ÁREA DE LAVADO BLISTER	3.34	2.40	8.0	18	30	25	65	Clase D (ISO 8)	12	10	20	26	139	164	-56	80	160	64	
5	ESCLUSA ÁREA DE LAVADO BLISTER	2.50	2.40	6.0	18	30	25	65	Clase D (ISO 8)	18	10	20	19	39	58	-42	60	120	23	620
6	ÁREA DE EMPACADO COLECTIVO	14.60	2.40	35.0	18	n.a.	25	n.a.	ISO-Clase 9	6	n.a.	n.a.	111	1174	1285	-245			498	
7	PASILLO	9.54	2.40	22.9	18	n.a.	25	n.a.	ISO-Clase 9	12	n.a.	n.a.	73	150	223	-160			86	770
8	ESCLUSA DE PERSONAL GENERAL	2.91	2.40	7.0	18	n.a.	25	n.a.	ISO-Clase 9	6	n.a.	n.a.	22	46	68	-49			26	
9	ESCLUSA MATERIALES ALMACÉN	2.24	2.40	5.4	18	n.a.	25	n.a.	ISO-Clase 9	6	n.a.	n.a.	17	35	52	-38			20	

Figura 8: Hoja de cálculo "Roombook" para el establecimiento de datos del proyecto

Previo a establecer el caudal de aire acondicionado de suministro para cada uno de los cuartos, resultó indispensable identificar los tipos y la magnitud de la generación de calor que se presenta en cada sala y está se clasifica en dos categorías: ganancias de calor externas y ganancias de calor internas.

Se entiende por generación de calor al aporte de energía calorífica liberada por cualquier fuente cuya operación o presencia implique un desgaste energético, el cual se traduce en irradiación o transferencia de calor. Este fenómeno contribuye directamente al incremento de la temperatura del ambiente y, en ciertos casos, también a la humedad absoluta del mismo. La generación de calor interna está asociada a los equipos en operación durante el proceso productivo, al personal que labora en el área, a la iluminación y a otros componentes específicos de la actividad realizada. Por otro lado, la generación de calor externa se produce por la transferencia de energía por radiación y convección, principalmente derivada de la radiación solar. Su magnitud depende de la ubicación y orientación del recinto, así como de la estación del año, este último determina el grado de radiación que atraviesa muros, techos, plafones e infiltraciones por ventanas, contribuyendo significativamente a la carga térmica del espacio.

El efecto combinado de las ganancias de calor internas y externas provoca un incremento en la temperatura y/o humedad del ambiente, que está regido por las características de cada fuente de calor. Este aporte puede clasificarse en dos formas: calor sensible y calor latente. El calor sensible se manifiesta como un aumento de la temperatura sin un cambio significativo en la humedad absoluta, por lo que en la carta psicrométrica únicamente se observa un desplazamiento en la línea horizontal. En contraste, el calor latente se refiere al aporte de energía que genera un cambio de fase en una sustancia (por ejemplo, el agua líquida a su estado gaseoso, vapor), lo cual incrementa la humedad absoluta del aire sin modificar idealmente la temperatura. En la carta psicrométrica, este fenómeno se refleja como un desplazamiento en la dirección vertical, asociado únicamente al contenido de humedad. (Word Press, s.f.)

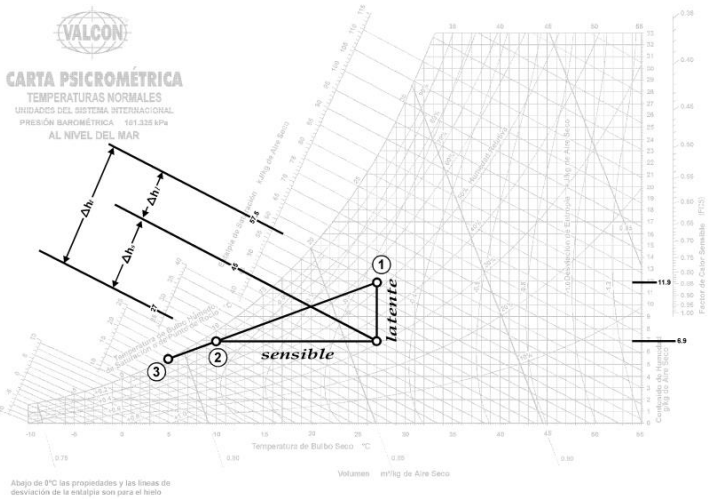


Figura 9: Explicación del calor latente y sensible en la carta psicrométrica (Word Press, s.f.)

La aportación de calor impacta directamente en las condiciones de temperatura y humedad de los cuartos. Esto se traduce a una carga que debe mitigarse para alcanzar los parámetros exigidos según la clasificación de aire. La carga térmica total de cada recinto corresponde a la suma de las ganancias internas y externas expresada en watts; esta magnitud es determinante para calcular el caudal de aire de suministro climatizado requerido.

En el presente proyecto, el cliente proporcionó el número de personas, los equipos y la iluminación operativa, así como la ubicación por áreas. Para la metodología adoptada se ha considerado únicamente el aporte de calor sensible (es decir, sin incluir posibles aportes de humedad). Respecto a los equipos, el cliente indicó la potencia máxima instalada en el área de producción. Para convertir dicha potencia eléctrica en carga térmica sensible se aplican factores de corrección por tiempo efectivo de operación y eficiencia, estimándose, de acuerdo con un acuerdo interno, que sólo el 30 % de la potencia nominal se transforma en generación de calor sensible aportada al recinto.

En cuanto a las ganancias externas, la planta cuenta con muros y techos con impermeabilización adecuada; por tanto, en este análisis únicamente se han considerado las ganancias por transmisión a través del plafón. Cuando es necesario incorporar ganancias térmicas externas en otros casos, la base de datos del *Roombook* contiene valores estandarizados, fundamentados en datos de condiciones climatológicas exteriores (temperatura y humedad) y de radiación solar, comúnmente obtenidos de AMERIC AA-006-94-000[14]. Estos están desagregados por ubicación geográfica y estación (invierno/verano), que permiten calcular la contribución solar al balance térmico.

EOLIS

BALANCE TÉRMICO VERANO

Ganancias Externas

Cliente: Empresa de empaque farmacéutico **Edificio:** Planta Baja
Obra: HVAC **Area:** Blisteado **Mes y Hora de Diseño:** Julio 5:00 PM
Ubicación: Cd. de México, CDMX **Sistema:** UMA-BLISTEADO **Horas Operación:** 24 Hrs
PROY:/C.P.: P25FARMA3717

Revisión	Elaboró	Fecha	Revisó	Fecha	Aprobó	Fecha
JUZ	SMA	08/07/25				

N° Cuarto	ELEMENTOS / Ganancia [W/m²] / Nombre	Ventana N 127.3 [m²]	[W]	Ventana S 92.5 [m²]	[W]	Ventana E 168.6 [m²]	[W]	Ventana W 279.9 [m²]	[W]	Muro Ext N 23.1 [m²]	[W]	Muro Ext S 17.4 [m²]	[W]	Muro Ext E 28.5 [m²]	[W]	Muro Ext W 37.0 [m²]	[W]	Techo Ext H 21.5 [m²]	[W]	Piso Int. 9.0 [m²]	[W]	Muro Int. - 9.3 [m²]	[W]	Plafond - 7.6 [m²]	[W]	Ganancias Externas [W]
1	ÁREA DE BLISTER																							31.3	239	239
2	ESCLUSA MATERIALES BLISTER																							4.0	30	30
3	ESCLUSA PERSONAL BLISTER																							2.3	18	18
4	ÁREA DE LAVADO BLISTER																							3.3	26	26
5	ESCLUSA ÁREA DE LAVADO BLISTER																							2.5	19	19
6	ÁREA DE EMPACADO COLECTIVO																							14.6	111	111
7	PASILLO																							9.5	73	73
8	ESCLUSA DE PERSONAL GENERAL																							2.9	22	22
9	ESCLUSA MATERIALES ALMACÉN																							2.2	17	17
	TOTAL																							555		

Figura 10: Hoja de cálculo para el balance térmico en verano (ganancias externas)

EOLIS

BALANCE TÉRMICO VERANO

Ganancias Internas

Cliente: Empresa de empaque farmacéutico **Edificio:** Planta Baja
Obra: HVAC **Area:** Blisteado **Mes y Hora de Diseño:** Julio 5:00 PM
Ubicación: Cd. de México, CDMX **Sistema:** UMA-BLISTEADO **Horas Operación:** 24 Hrs
PROY:/C.P.: P25FARMA3717

Revisión	Elaboró	Fecha	Revisó	Fecha	Aprobó	Fecha
JUZ	SMA	08/07/25				

N° Cuarto	ELEMENTOS / Ganancia [W/m²] / Nombre	Área de Piso [m²]	Iluminación [W/m²]	Balastro 1.05 Cant	[W]	Personas [m²] por Pers.	Qs= 86 Cant	[W]	Motores [HP]	746 [W]	Equipos Fact = [W]	1.00 [W]	Refrigerador Pza	250 [W]	Comp. Pza	100 [W]	Otros Pza	1.00 [W]	Ganancias Internas [W]
1	ÁREA DE BLISTER	31.29	15.0	469.4	493	15.6	2	172			4500	4500							5165
2	ESCLUSA MATERIALES BLISTER	3.96	15.0	59.4	62														62
3	ESCLUSA PERSONAL BLISTER	2.32	15.0	34.8	37														37
4	ÁREA DE LAVADO BLISTER	3.34	15.0	50.1	53	3.3	1	86											139
5	ESCLUSA ÁREA DE LAVADO BLISTER	2.50	15.0	37.5	39														39
6	ÁREA DE EMPACADO COLECTIVO	14.60	15.0	219.0	230	3.7	4	344			600.0	600							1174
7	PASILLO	9.54	15.0	143.1	150														150
8	ESCLUSA DE PERSONAL GENERAL	2.91	15.0	43.7	46														46
9	ESCLUSA MATERIALES ALMACÉN	2.24	15.0	33.6	35														35
	TOTAL	72.70		1145		7		602			5100								6847

Figura 11: Hoja de cálculo para el balance térmico en verano (ganancias internas)

6.2.3 Balance de aire en el sistema

Esta sección del *Roombook* corresponde a la elaboración de la tabla de balance de aire, con la cual se estimaron los caudales de aire de suministro, extracción y retorno, además del caso

[14] Especificación técnica para definir las temperaturas de diseño y datos geográficos aplicables en sistemas de aire acondicionado.

de volúmenes de aire que van hacia los colectores de polvo, los cuales, para propósitos de este proyecto, no se implementaron por requerimiento del cliente.

Lo primero que se debe tomar en cuenta en esta tabla, son las ganancias o pérdidas de aire por fugas causadas por la diferencial de presión que existe entre 2 cuartos adyacentes. Se utilizó la *tabla de cálculo de flujo de aire en puertas* para registrar los caudales de aire por fugas, utilizando también el ancho y tipo de puerta seleccionada para cada cuarto en el que se estará llevando a cabo el análisis. La manera correcta de registrar estas fugas fue analizando cada cuarto por separado, ya que de esta manera se determina de una manera más práctica la pérdida o ganancia de aire por fugas. Posteriormente estas se registran en la columna "+ASP" que se refiere a las ganancias y "-ASP", correspondiente a las pérdidas.

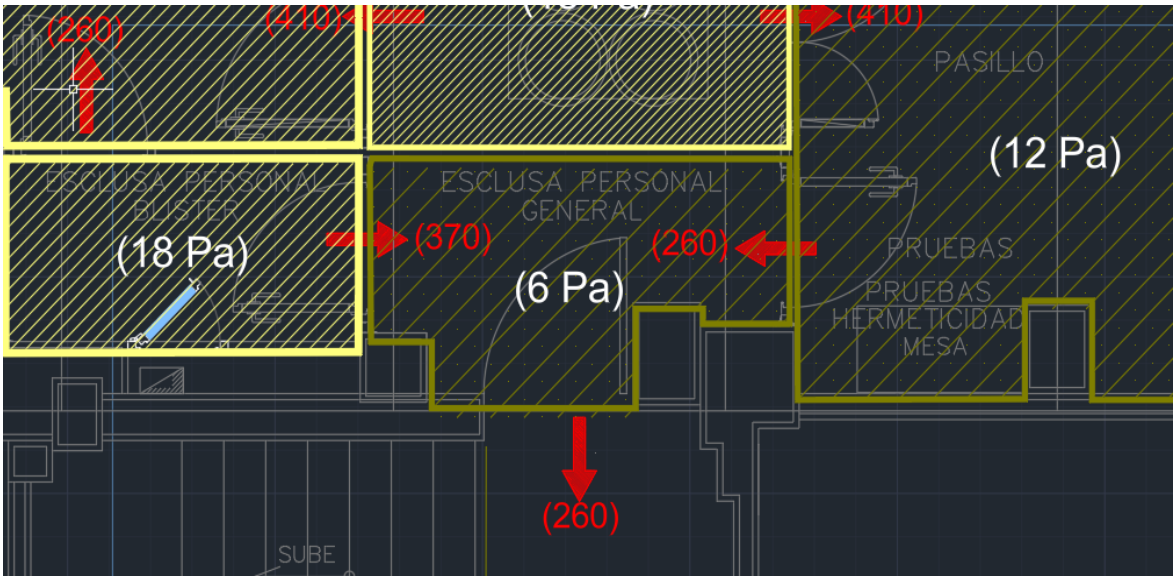


Figura 12: Ejemplificación para identificar los tipos de flujos entre recintos

Para dar una explicación más gráfica, tomemos en cuenta esta Esclusa Personal General, la cual tiene distintas entradas por puertas sencillas y está rodeada por la Esclusa Personal blister, un Pasillo y tiene salida a la calle considerada como 0 Pa ya que este es un ambiente no controlado. Respecto a la esclusa personal blister, existe una diferencial de 12 Pa, entonces, la Esclusa Personal General tendrá una ganancia de aire por fuga. Posteriormente se ubica en la *tabla de cálculo de flujo de aire en puertas* la diferencial de presión al igual que el ancho y tipo de puerta asociada, en este caso se trató de una puerta sencilla de 0.85 m de ancho.

Nº	Tipo de Puerta	Tamaño Puerta		Perimetro	Dimensión de Ranura				Area Libre Ranuras	ΔP	Velocidad aire en Ranura	Flujo de Aire en Ranuara
		Ancho [m]	Alto [m]	[m]	Inferior [m]	Superior [m]	Lateral [m]	Central [m]	[m^2]	[Pa]	[m/s]	[m^3/h]
1	Sencilla	0.85	2.20	6.10	0.005	0.003	0.003	-	0.020	6	3.604	260
2	Sencilla	0.85	2.20	6.10	0.005	0.003	0.003	-	0.020	12	5.097	370
3	Sencilla	0.85	2.20	6.10	0.005	0.003	0.003	-	0.020	18	6.243	450
4	Sencilla	0.85	2.20	6.10	0.005	0.003	0.003	-	0.020	24	7.209	520
5	Sencilla	0.85	2.20	6.10	0.005	0.003	0.003	-	0.020	30	8.060	590

Figura 13: Hoja de cálculo para calcular el flujo de aire en ranuras de puertas

Siguiendo esta tabla, se observa que el caudal asociado es de 370 m^3/h, lo cual es una ganancia de aire para esta esclusa. Para saber que es una ganancia o pérdida, la dirección de la flecha roja lo indica, si el cuarto está ganando la punta de la flecha irá dirigida hacia adentro del cuarto vinculado; por el contrario, si la flecha apunta a la dirección contraria se tendrá una pérdida.

Una vez definidas las pérdidas y ganancias de aire, es importante verificar que el aire de salida (referente a retorno, extracción, pérdidas de aire y colector de polvos) no sea mayor al aire de entrada (el cual obedece a las ganancias y suministro), ya que esta acción crea un desbalance en el sistema y esto se ve reflejado en la última columna de la tabla relacionado al Total del caudal de salida del aire, debido a que cuando hay un caudal de salida mayor a uno de entrada, este será marcado por la hoja de cálculo en color rojo. La solución óptima ante esta problemática es simplemente comenzar a compensar esas pérdidas con el suministro de aire, el cual está orientado a registrarse en la hoja *Roombook* en la columna correspondiente a *Aire Suministro de Diseño,* que está directamente relacionado a los *Cambios de Aire de Diseño.* Esta última columna corresponde al volumen de aire por unidad de tiempo (comúnmente horas) que entra a un espacio, dividido por el volumen total del espacio y, estará definido de acuerdo con el rango de cambios de aire por hora establecido para cada área en el Anexo A, por supuesto, respetando la clasificación definida de los cuartos.

Cuando existe un desbalance por la presencia de una mayor salida de aire se agrega un caudal de aire de suministro con el objetivo de compensar dichas pérdidas. Para ello se presentan dos tipos de criterios: el suministro de aire *Por Presión* y el suministro de aire *Por Temperatura.* Cuando se habla de suministro de aire *Por presión* se refiere a que se tiene que compensar el desbalance por la presencia de una mayor pérdida de fugas, por lo que en el documento *Roombook* existe una columna de *Valor de comprobación para Balance*, que será encargada de mostrar, por cuarto, el aire que se debe suministrar para compensar esa pérdida mayor. Habitualmente se agrega como aire de suministro el valor que aparece en esa columna, pero se debe tomar en cuenta que además del aire agregado para balancear se deben agregar otros 100 m^3/h porque este es el caudal mínimo que registra el instrumento de medición durante las pruebas realizadas por el departamento de validación, de esta manera se asegura que los difusores se encuentran en una correcta operación. El problema se presenta

cuando el suministro de aire sobrepasa el límite de cambios por hora en un cuarto (dependiendo de su clasificación) porque los valores superan a los que establece la normativa y buscar una solución puede hacer que el sistema se vea gravemente descompensado. Cuando existe un sobrepaso de los cambios de aire máximos por la compensación de pérdidas, esta es una opción válida conocida como la *Nota 1,* un criterio interno que dice que "*los cambios por hora se encuentran arriba de los valores que marca la NOM-059-SSA-2015 apéndice A y son resultado de los cálculos técnicos para asegurar el balanceo de presiones diferenciales. Estos valores de diseño no ponen en riesgo la clasificación del aire, el proceso y/o producto".* Esto es una alternativa completamente válida. Para registrar este caso en particular, existe la columna *Por Presión,* estando contenidas las celdas por cada cuarto en caso de utilizar esta alternativa, y se coloca el valor del aire suministrado total cuando este utiliza el criterio de cambios de aire por presión.

El otro criterio que se toma es el del suministro de aire por temperatura, que se utiliza también como una alternativa viable en el caso de presentar temperaturas muy altas en un cuarto y se tenga que suministrar más aire. Por ejemplo, en el caso que un cuarto tiene una alta temperatura ya con el caudal de aire de suministro establecido y los demás cuartos se encuentran en rango de temperatura muy cerca de la deseada, al bajar la temperatura de aire de suministro el problema en este cuarto se mitigará, pero provocará que los demás cuartos comiencen a bajar su temperatura. Para dar solución a este problema se puede implementar lo establecido en la *Nota 2*, enunciando que *"los cambios por hora se encuentran arriba de los valores que marca la NOM-059-SSA-2015 apéndice A y son resultado de los cálculos térmicos que aseguran el parámetro de temperatura. Estos valores de diseño no ponen en riesgo la clasificación del aire, el proceso y/o producto".* Esto significa que, si se cuenta con un cuarto que tiene mucha más generación de energía térmica, se puede sobrepasar el límite de cambios de aire por hora de diseño de acuerdo con lo enunciado por la normativa, logrando esto con un suministro mayor del caudal de aire. Irremediablemente se provocará un incremento en los cambios de aire por hora, pero se justifica con la implementación de esta *Nota 2.*

ROOMBOOK

macéutico	**Edificio:** Planta Baja			Densidad	0.924 [kg/m³]	Revisión	Elaboró	Fecha	Revisó	Fecha	Aprobó	Fecha
	Área: Blisteado			CP	1.006 [kJ/kg K]	JUZ	SMA	08/07/25				
	Sistema: UMA-BLISTEADO			ΔT	10 [K]							
	PROY:/C.P.: P25FARMA3717											

Base de cálculo de cuartos.

Demandas								Cargas Sensible				Volumen de aire							
Condiciones.				Limpieza				Enfriamiento			Calef.	Cálculo flujo de aire [m³/h]							
Mínimo		Máximo																	
Temperatura de aire dentro del cuarto	Humedad del Aire dentro del cuarto	Temperatura del Aire dentro del cuarto	Humedad del Aire dentro del cuarto	Clase de aire según NOM-059-SSA1-2015	Presión de cuarto	Cambios de Aire [C/h] **Ver nota 1**		Calor Externo	Calor Interno	Calor Total	Pérdidas Externas				Aire Suministro de Diseño (Varía de acuerdo al balance realizado en campo) **Ver Nota 4**	Cambios de aire de Diseño **(Ver Nota 4)** (Varía de acuerdo al balance realizado en campo)	Observaciones	*Valor de comprobación para Balance (este valor debe ser Cero)*
[°C]	%H.R.	[°C]	%H.R.		[Pa]	Mín.	Máx.	[W]	[W]	[W]	[W]	Por Cambios de aire por hora Mín.	Máx.	Por ΔT (Verano)	Por Presión	[m³/h]	[C/h]		
18	30	25	65	Clase D (ISO 8)	12	10	20	239	5165	5404	-526	823	1,646	2,094		**2,800**	34	VER NOTA 2	
18	30	25	65	Clase D (ISO 8)	18	10	20	30	62	93	-67	104	208	36	920	**920**	88	VER NOTA 1	
18	30	25	65	Clase D (ISO 8)	18	10	20	18	37	54	-39	56	111	21	730	**730**	131	VER NOTA 1	
18	30	25	65	Clase D (ISO 8)	12	10	20	26	139	164	-56	80	160	64		**200**	25		
18	30	25	65	Clase D (ISO 8)	18	10	20	19	39	58	-42	60	120	23	620	**620**	103	VER NOTA 1	
18	n.a.	25	n.a.	ISO-Clase 9	6	n.a.	n.a.	111	1174	1285	-245			498		**700**	20	VER NOTA 2	
18	n.a.	25	n.a.	ISO-Clase 9	12	n.a.	n.a.	73	150	223	-160			86	770	**770**	34	VER NOTA 1	
18	n.a.	25	n.a.	ISO-Clase 9	6	n.a.	n.a.	22	46	68	-49			26		**100**	14		
18	n.a.	25	n.a.	ISO-Clase 9	6	n.a.	n.a.	17	35	52	-38			20		**100**	19		

Figura 14:Base de cálculo de cuartos del Roombook

Esto podría suceder en habitaciones cuyas ganancias de calor sean tales que, esta deba tener un sistema de enfriamiento mayor comparado a las demás.

Para el caso de este proyecto se decidieron los caudales de aire de suministro mostrados en la **figura 15** y se implementaron también los dos criterios de diseño que se señalaron previamente. Particularmente, el cuarto vinculado al Área de blister contaba con la presencia de una máquina blisteadora, que generaba un calor sensible de 4.5 kW.

De igual manera cuando se presenta el caso en que, un cuarto tiene el mismo caudal de ganancias y pérdidas por fugas, es decir, que técnicamente ya está balanceado, se le debe suministrar como mínimo 100 m^3/h de manera estandarizada, por los motivos mencionados anteriormente.

Posteriormente, de la salida de aire, se define (dependiendo si el sistema tendrá recirculación completa, retorno parcial[15] un sistema de extracción total o el flujo que irá a un colector de polvos. Esta decisión depende directamente de lo establecido en la normativa aplicable respecto a los tipos de áreas contempladas dentro del sistema, ya que por razón lógica no se puede retornar aire de un cuarto o área destinada a tener un proceso no limpio y es deseable implementar una unidad de extracción.

Para este sistema, se cuenta con un retorno parcial ya que solamente dos cuartos tendrán aire de expulsión hacia el medio ambiente y los demás se retornaron incorporándose nuevamente al suministro del sistema.

[15] Cuando solamente se retorna el aire de ciertos cuartos.

EOLIS

TABLA DE BALANCE DE AIRE

Cliente: Empresa de empaque farmacéutico	**Edificio:** Planta Baja	Revisión	Elaboró	Fecha	Revisó	Fecha	Aprobó	Fecha
Obra: HVAC	**Área:** Blisteado	JUZ	SMA	08/07/25				
Ubicación: Cd. de México, CDMX	**Sistema:** UMA-BLISTEADO							
	PROY:/C.P.: P25FARMA3717							

Nº Cuarto	Cuarto	Presión [Pa]	Área [m²]	Altura [m]	Volúmen [m³]	Cambios de aire [C/h]	Entrada de aire [m³/h] UMA-BLISTEADO AS [m³/h]	AS [m³/h]	+ A S P [m³/h]	Total [m³/h]	Salida de aire [m³/h] UMA-BLISTEADO A R [m³/h]	A EXT [m³/h]	A EXT [m³/h]	CP [m³/h]	- A S P [m³/h]	Total [m³/h]
1	ÁREA DE BLISTER	12	31.29	2.6	82.3	34	2800		930	3730	3240				490	3730
2	ESCLUSA MATERIALES BLISTER	18	3.96	2.6	10.4	88	920			920	100				820	920
3	ESCLUSA PERSONAL BLISTER	18	2.32	2.4	5.6	131	730			730	100				630	730
4	ÁREA DE LAVADO BLISTER	12	3.34	2.4	8.0	25	200		260	460		460				460
5	ESCLUSA ÁREA DE LAVADO BLISTER	18	2.50	2.4	6.0	103	620			620	100				520	620
6	ÁREA DE EMPACADO COLECTIVO	6	14.60	2.4	35.0	20	700		900	1600	1600					1600
7	PASILLO	12	9.54	2.4	22.9	34	770		410	1180	100				1080	1180
8	ESCLUSA DE PERSONAL GENERAL	6	2.91	2.4	7.0	14	100		630	730		470			260	730
9	ESCLUSA MATERIALES ALMACÉN	6	2.24	2.4	5.4	19	100		410	510	100				410	510
	TOTAL DISEÑO		72.7		182.6		6,940		3,540	10,480	5,340	930			4,210	10,480
	% FACTOR DE FUGAS Y RESERVA =															
	VALORES PARA SELECCIÓN DE EQUIPOS					=	6,940				5,340	930				

NOTA 1 : Los valores de AS y AR pueden variar de acuerdo al balance final de Presiónes diferenciales en Puertas, Extraccion de equipos de Proceso y Colecciones de Polvo

Ventilación	**Aire Exterior =**	**1,600**	**[m³/h]**	**23%**	Valores de Diseño
Cantidad de Personas =	**7**	**229**	[m³/h] (persona)		

Figura 15: Hoja de cálculo para el balance de aire en el sistema

6.2.3.1 Análisis de Invierno y Verano

Una vez concluido el balance de aire en el punto anterior, la etapa posterior fue el monitoreo de la temperatura en los cuartos. Después de haber definido un balanceo cumpliendo con las normativas, fue necesario observar el comportamiento del sistema y cómo es que se alteraban las condiciones de temperatura en cada uno de los recintos acondicionados. Este análisis se realizó con las 2 estaciones climáticas más críticas en cuanto a los límites de condiciones de temperatura y humedad. Por un lado, el verano, que es la estación que tiende a registrar las temperaturas más altas a lo largo del año, al mismo tiempo que de humedad, lo que se establece como las condiciones ambientales más altas para operar con el sistema, ya que se buscará realizar una disminución de la temperatura (enfriamiento). Por otro lado, está el análisis en invierno, que es la época registrada con las condiciones de temperatura y humedad más bajas, en este análisis, contrario al verano, siempre se procurará un aumento en la temperatura, entendiendo que la calefacción toma un papel clave.

En el estudio de estos dos análisis, se tiene una columna con la que se puede cambiar la *Temperatura de Inyección con Carga*, asignado a la temperatura del aire que suministra un difusor cuando se tiene presente la carga térmica y la *Temperatura de Inyección sin Carga*, suministrada por el difusor, pero con la diferencia que se considera que no se está generando carga térmica (con las condiciones de un cuarto sin operación). Para cada uno de estos casos existe la columna que indica la *Temperatura de Cuarto con Carga* y *Temperatura de Cuarto sin Carga*. Esta última será la temperatura aproximada que tendrá cada cuarto después de haber implementado el sistema de acondicionamiento.

En la parte inferior se tienen las casillas asociadas a la *Temperatura de Retorno con Carga Interior* y la *Temperatura de Retorno sin carga interior*, dichos valores pertenecen al

setpoint[16]. Esto indica la temperatura de extracción del aire en el sistema para posteriormente retornarlo e incorporarlo nuevamente al mismo. Estos dos valores fueron el resultado de la sumatoria de los productos entre la temperatura interior de los cuartos (correspondiente a la *Temperatura Cuarto con Carga* o *Temperatura Cuarto Sin Carga,* según sea el caso) y la proporción de aire retornado a cada cuarto en relación con el aire de retorno total.

La temperatura de setpoint fue obtenida bajo este método porque la temperatura del aire de retorno de un sistema es el resultado de una mezcla entre la temperatura del aire suministrado y la del ambiente existente en el cuarto. Teóricamente, la temperatura de retorno corresponde al promedio ponderado de las temperaturas de cada zona, en función del caudal de aire que se entrega a cada una. En otras palabras, se obtuvo un promedio que relaciona la temperatura de los cuartos con el porcentaje de aire de retorno (respecto al total de A.R.). A partir de esta correlación se determinó el setpoint. Esto permitió representar de forma precisa la temperatura del aire mezclado que vuelve al sistema, asegurando un control térmico eficiente y una regulación adecuada de la temperatura de acuerdo con las condiciones de estandarización.

EOLIS

ANÁLISIS CON/SIN CARGA TÉRMICA INTERNA

ENFRIAMIENTO

Cliente: Empresa de empaque farmacéu
Obra: HVAC
Ubicación: Cd. de México, CDMX
Edificio: Planta Baja
Area: Blisteado
Sistema: UMA-BLISTEADO
PROY:/C.P.: P25FARMA3717
Mes y Hora de Diseño: Julio 5:00 PM
Horas Operación: 24 Hrs

Revisión	Elaboró	Fecha	Revisó	Fecha	Aprobó	Fecha
JUZ	SMA	08/07/25				

N°	Nombre del Area	Calor Externo [W]	Calor Interno [W]	Total Sensible [W]	Aire Suministro [m³/h]	Aire Retorno /Extracció [m³/h]	Cambios de aire [C/h]	Temp Iny. C/Carga [°C]	Temp Cuarto Con Carga [°C]	Temp Iny. S/Carga [°C]	Temp Cuarto Sin Carga [°C]	Tmin.	Tmáx.			
1	ÁREA DE BLISTER	239.0	5165	5404	2800	3240	34	16.8	24.3	22.5	22.9	18	25	0.517	12.56	11.82
2	ESCLUSA MATERIALES BLISTER	30.2	62	93	920	100	88	16.8	17.2	22.5	22.7	18	25	0.016	0.27	0.36
3	ESCLUSA PERSONAL BLISTER	17.7	37	54	730	100	131	16.8	17.1	22.5	22.6	18	25	0.016	0.27	0.36
4	ÁREA DE LAVADO BLISTER	25.5	139	164	200	460	25	16.8	20.0	22.5	23.0	18	25	0.073	1.47	1.69
5	ESCLUSA ÁREA DE LAVADO BLISTER	19.1	39	58	620	100	103	16.8	17.2	22.5	22.7	18	25	0.016	0.27	0.36
6	ÁREA DE EMPACADO COLECTIVO	111.5	1174	1285	700	1600	20	16.8	23.9	22.5	23.2	18	25	0.255	6.11	5.91
7	PASILLO	72.9	150	223	770	100	34	16.8	17.9	22.5	22.9	18	25	0.016	0.29	0.37
8	ESCLUSA DE PERSONAL GENERAL	22.2	46	68	100	470	14	16.8	19.5	22.5	23.4	18	25	0.075	1.46	1.75
9	ESCLUSA MATERIALES ALMACÉN	17.1	35	52	100	100	19	16.8	18.9	22.5	23.2	18	25	0.016	0.30	0.37
	TOTAL	555	6847	7402	6940	6270								1.000	23.00	23.00

Temp. Retorno con carga interior =	23.00	[°C]	Termostato Retorno /Extracción
Temp. Retorno sin carga interior =	23.00	[°C]	

Figura 16:Análisis de temperatura en cada recinto, con y sin carga térmica. en verano

La técnica más adecuada para definir la temperatura de cada cuarto consiste en retomar la etapa de *Balance de Aire*, en la cual se realizan ajustes en los parámetros de operación. Dichos ajustes pueden incluir el incremento del caudal de aire de suministro cuando se desea reducir la temperatura, o bien su disminución en caso de buscar un aumento de temperatura. De la misma forma, es posible modificar la temperatura de inyección y los valores de retorno/extracción (setpoint), aplicando ajustes de forma iterativa hasta alcanzar la temperatura deseada en cada sala. Cabe destacar que este sistema no fue concebido con fines de confort humano, ya que su objetivo principal fue el de mantener las condiciones de proceso y clasificación del aire; sin embargo, resulta igualmente importante procurar

[16] Valor de referencia establecido en un sistema de control para regular una variable a un nivel deseado.

condiciones adecuadas que favorezcan la seguridad y el bienestar del personal que labora en estas áreas.

EOLIS

ANÁLISIS CON/SIN CARGA TÉRMICA INTERNA

CALEFACCION

Cliente: Empresa de empaque farmacéut **Edificio:** Planta Baja
Obra: HVAC **Area:** Blisteado **Mes y Hora de Diseño:** Enero 6:00 AM
Ubicación: Cd. de México, CDMX **Sistema:** UMA-BLISTEADO **Horas Operación:** 24 Hrs
PROY:/C.P.: P25FARMA3717

Revisión	Elaboró	Fecha	Revisó	Fecha	Aprobó	Fecha
JUZ	SMA	08/07/25				

N°	Nombre del Area	Perdidas Externas [W]	Calor Interno [W]	Total Sensible [W]	Aire Suministro [m³/h]	Aire Retorno /Extracción [m³/h]	Cambios de aire [C/h]	Temp Iny. C/Carga [°C]	Temp Cuarto C/Carga [°C]	Temp Iny. S/Carga [°C]	Temp Cuarto S/Carga [°C]	Tmin.	Tmáx.			
1	ÁREA DE BLISTER	-525.7	5165	4639	2800	3240	34	17.3	23.7	23.0	22.3	18	25	0.517	12.24	11.51
2	ESCLUSA MATERIALES BLISTER	-66.5	62	-4	920	100	88	17.3	17.2	23.0	22.7	18	25	0.016	0.28	0.36
3	ESCLUSA PERSONAL BLISTER	-39.0	37	-2	730	100	131	17.3	17.3	23.0	22.8	18	25	0.016	0.28	0.36
4	ÁREA DE LAVADO BLISTER	-56.1	139	82	200	460	25	17.3	18.9	23.0	21.9	18	25	0.073	1.38	1.61
5	ESCLUSA ÁREA DE LAVADO BLISTER	-42.0	39	-3	620	100	103	17.3	17.2	23.0	22.7	18	25	0.016	0.28	0.36
6	ÁREA DE EMPACADO COLECTIVO	-245.3	1174	929	700	1600	20	17.3	22.4	23.0	21.6	18	25	0.255	5.72	5.52
7	PASILLO	-160.3	150	-10	770	100	34	17.3	17.2	23.0	22.2	18	25	0.016	0.27	0.35
8	ESCLUSA DE PERSONAL GENERAL	-48.9	46	-3	100	470	14	17.3	17.1	23.0	21.1	18	25	0.075	1.29	1.58
9	ESCLUSA MATERIALES ALMACÉN	-37.6	35	-2	100	100	19	17.3	17.2	23.0	21.5	18	25	0.016	0.27	0.34
	TOTAL	-1221	6847	5626	6940	6270								1.000	22.00	22.00

Temp. Retorno con carga interior =	22.00	[°C]	Termostato
Temp. Retorno sin carga interior =	22.00	[°C]	Retorno /Extracción

Figura 17: Análisis de temperatura en cada recinto, con y sin carga térmica, en invierno

6.2.4 Elaboración de la carta psicrométrica y cálculo de capacidades reales

6.2.4.1 Proceso correspondiente a verano seco

Una vez balanceado el sistema y teniendo bien definidas las temperaturas en cada uno de los cuartos existentes, el procedimiento posterior fue determinar la capacidad de enfriamiento, calefacción y el flujo másico de humidificación de los equipos necesarios para lograr alcanzar las condiciones adecuadas de operación en el sistema, procurando las *temperaturas de aire de inyección con carga* establecidas para invierno y verano. Para ello, se empleó una herramienta que consistió en un software dónde se simularon los procesos psicrométricos del aire utilizando una carta psicrométrica interactiva, en la que se establecieron las condiciones ambientales y la altura sobre el nivel del mar, adecuadas al sitio dónde se ubicó el proyecto.

Para este caso, se definieron las siguientes condiciones ambientales: En el Punto 1 (verano seco), a una altura de 2730 m.s.n.m y también se definió el caudal de aire de suministro (Aire Exterior) de acuerdo con lo arrojado por la *Tabla de balance de aire*:

1) Point process of air		Air
Temperature	°C	32.000
Rel. humidity	%	26.000
Abs. Humidity	g/kg	10.422
Density humid	kg/m³	0.848
Enthalpy humid	kJ/kg	58.888
Volumeflow humid	m³/h	1600.000
Massflow dry	kg/h	1343.171

Tabla 2 Condiciones ambientales en el punto 1

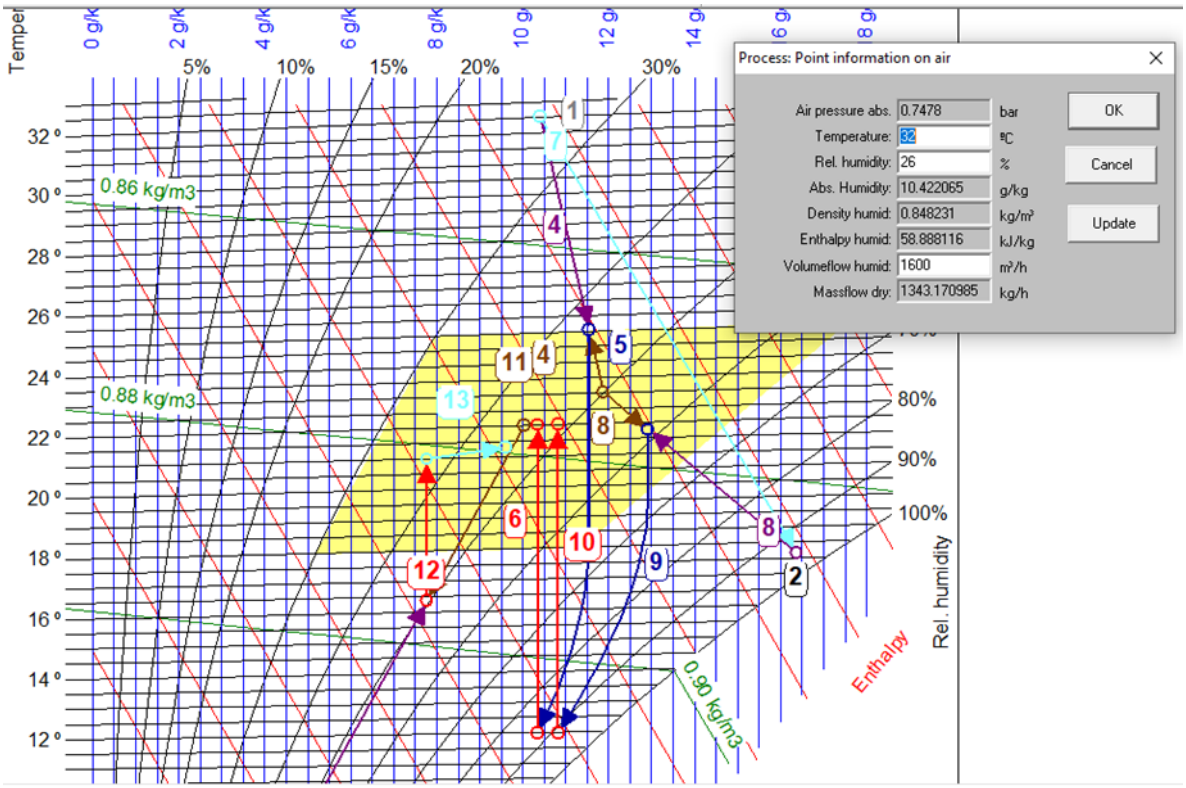


Figura 18: Condiciones ambientales mostradas en carta psicrométrica del punto 1

Que, para el caso de este software, la temperatura que arrojó en °C se considera la temperatura de Bulbo Seco, al ser la temperatura medida directamente del ambiente.

El siguiente proceso correspondió al Punto 4 el cual es la Mezcla de Aire Exterior y el Aire de Retorno, bajo las siguientes condiciones:

4) Mixing of 2 air flows

		Air flow 1	Air flow 2
Temperature	°C	32.000	23.000
Rel. humidity	%	26.000	50.000
Abs. Humidity	g/kg	10.422	11.880
Density humid	kg/m³	0.848	0.873
Enthalpy humid	kJ/kg	58.888	53.358
Volumeflow humid	m³/h	1600.000	5340.000
Massflow dry	kg/h	1343.171	4608.438
Condensed water	kg/h	–	–

Tabla 3 Condiciones ambientales en el punto 4

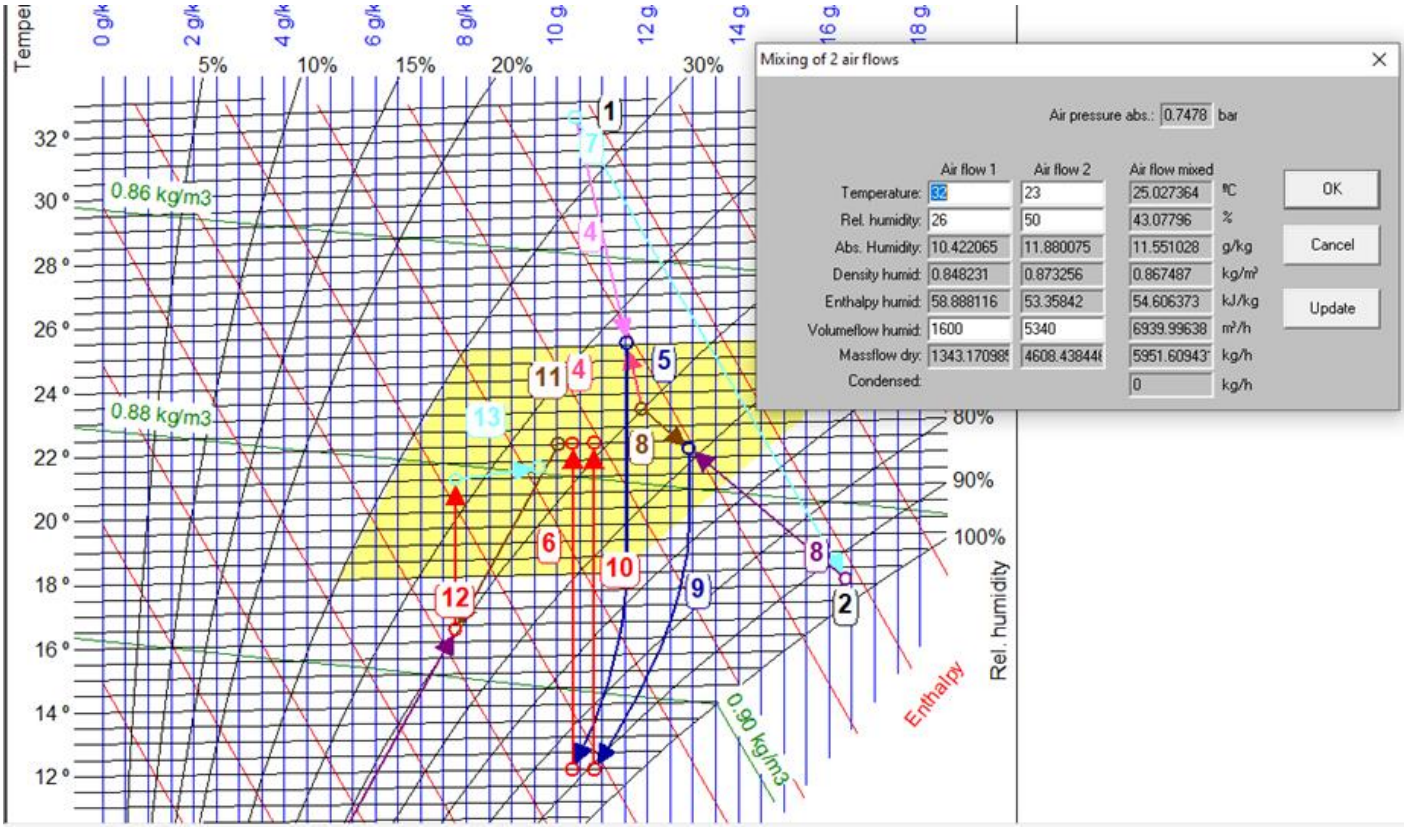


Figura 19: Condiciones ambientales mostradas en carta psicrométrica del punto 4

Para las condiciones de Humedad Relativa de retorno se ha establecido de manera estandarizada una norma interna que considera 45 a 50% como las condiciones que habitualmente se encuentran en un área controlada (recordando que en la mayoría de las clases se mantienen entre 35 y 60%, por lo que el 50% es considerado un promedio entre estas).

Teóricamente, el estado final resultante luego de realizar esta mezcla se obtuvo utilizando el principio de la mezcla de dos flujos de aire, el cual dice lo siguiente:

$$M_1 + M_2 = M_3 \qquad \textbf{E.4}$$

M representa el flujo másico del aire. En este caso, se tuvo un caudal volumétrico de aire y teniendo la densidad del lugar ρ=0.924 kg/m3. Indicando que:

$$\left(1600\frac{m^3}{h}+\right)\cdot\left(0.924\frac{kg}{m^3}\right) = 1478.4\frac{kg}{h} \qquad \textbf{E.5}$$

$$\left(5340\frac{m^3}{h}+\right)\cdot\left(0.924\frac{kg}{m^3}\right)=4934.16\frac{kg}{h} \qquad \textbf{E.6}$$

$$1478.4\frac{kg}{h}+4934.16\frac{kg}{h}=6412.56\frac{kg}{h} \qquad \textbf{E.7}$$

Esta mezcla representa el flujo másico total de Aire de Suministro que entra al sistema.

Posteriormente, ese mismo principio de mezcla de dos flujos másicos es válido con las siguientes ecuaciones:

$$M_1\,w_1+M_2w_2=M_3w_3 \qquad \textbf{E.8}$$

$$M_1\,h_1+M_2h_2=M_3h_3 \qquad \textbf{E.9}$$

Dónde:

h	Entalpía total [kJ/kg]
w	humedad absoluta [kg de vapor/kg de aire seco]

Entonces, para obtener h3 y w3, fue necesario despejarlas de sus ecuaciones respectivas

$$w_3=\frac{(M_1w_1+M_2\,w_2)}{M_3} \qquad \textbf{E.10}$$

$$w_3=\frac{\left(\left(1478.4\frac{kg}{h}\right)\cdot\left(11.5\frac{g}{kg}\right)+\left(4934.16\frac{kg}{h}\right)\cdot\left(12.8\frac{g}{kg}\right)\right)}{6412.56\frac{kg}{h}} \qquad \textbf{E.11}$$

$$w_3=12.4995\frac{g}{kg} \qquad \textbf{E.12}$$

$$h_3=\frac{M_1h_1+M_2\,h_2}{M_3} \qquad \textbf{E.13}$$

$$h_3=\frac{\left(\left(1478.4\frac{kg}{h}\right)\cdot\left(62\frac{kJ}{kg}\right)+\left(4934.16\frac{kg}{h}\right)\cdot\left(55\frac{kJ}{kg}\right)\right)}{6412.56\frac{kg}{h}} \qquad \textbf{E.14}$$

$$h_3 = 56.6138 \frac{kJ}{kg}$$ **E.15**

Teniendo estas dos variables, fue posible obtener directamente en una carta psicrométrica cuyas condiciones eran muy similares a las de Cuajimalpa de Morelos, CDMX (2730 m.s.n.m.), implementando una de 3000 m.s.n.m.

$T_{B.S.}$	$24.7°C$
$\emptyset$	44%
V_{Esp}	$1.245 \frac{kg}{m^3}$

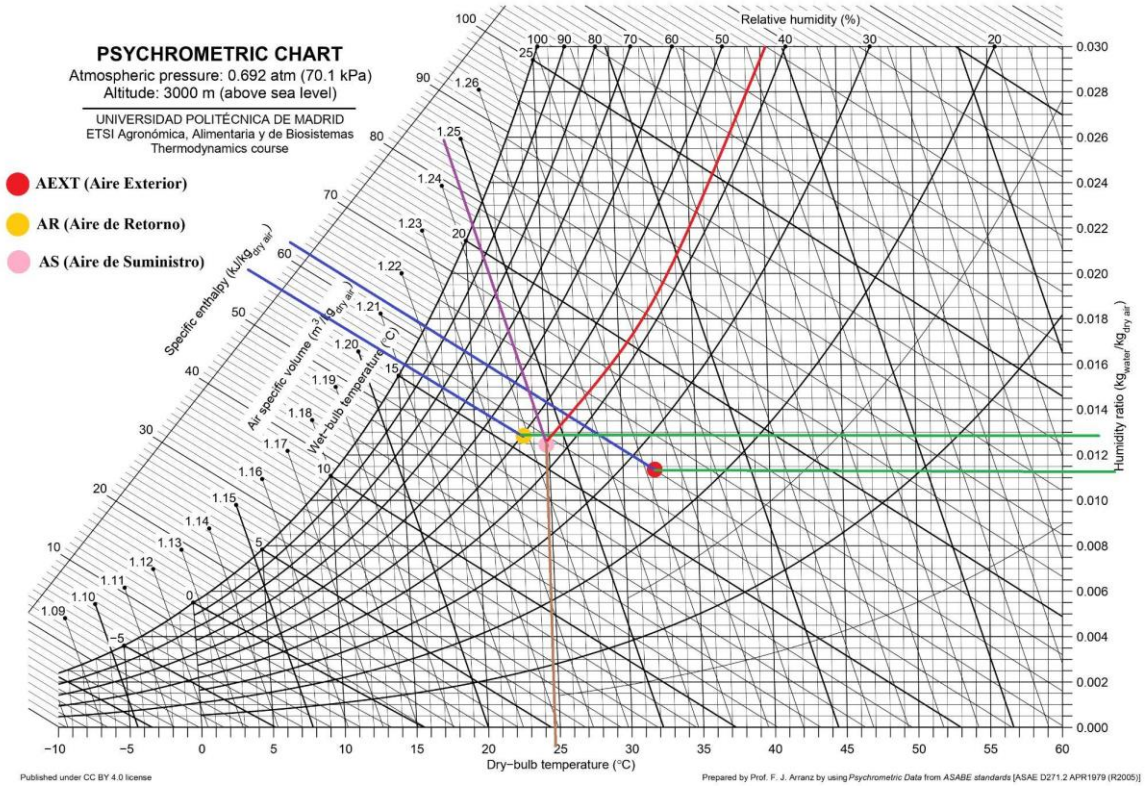


Figura 20: Condiciones psicrométricas reales obtenidas de la memoria de cálculo (verano seco)

El siguiente procedimiento fue llevar a cabo el proceso de enfriamiento del aire (punto 5), cuyo objetivo es acondicionarlo para posteriormente llevarlo a los parámetros de temperatura y humedad establecidos. Para ello, mediante el software se seleccionó la opción para el proceso de enfriamiento (cooling of air*)*, con dicha acción la temperatura disminuyó de 25 °C a 12 °C, por consiguiente, provocó un incremento en la humedad relativa, pasando de 43% a 87 %.

La reducción de la temperatura hasta 12 °C tuvo como finalidad alcanzar un punto predominante de humedad, pero sin llegar a los límites del rango normativo. Esto permitió que, al realizar posteriormente el proceso de calentamiento, el estado final del aire acondicionado se ubique dentro del campo de control establecido en la norma, principalmente para ISO-8. En consecuencia, situar el punto de operación lo más cercano posible al centro del campo de acondicionamiento (señalado en amarillo) otorga un mayor margen de estabilidad y precisión en el cumplimiento de las condiciones establecidas.

Otro aspecto que es importante mencionar es el parámetro *Coolant*, el cual hace referencia a la temperatura del fluido refrigerante que circula por el serpentín de enfriamiento (para este caso, se trató de un serpentín de expansión directa, equivalente a un evaporador). En este proceso, el refrigerante ingresa a 6 °C y se calienta hasta 12 °C como resultado de la transferencia de calor desde el aire acondicionado.

Finalmente, el parámetro el cual definió las condiciones del equipo encargado de llevar a cabo el enfriamiento es el de la capacidad total de enfriamiento (Capacity with humid air), traducido como la capacidad de poder retirar cierta cantidad de calor del aire, es decir, la energía que debe extraerse para alcanzar las condiciones de temperatura requeridas. El resultado arrojó una capacidad de enfriamiento de 27.12 kW.

5) Cooling of air – Partition of fins (2.5 – 3.5 mm)

Capacity	kW	27.115	Capacity partition 1 %	22.471
Mean temp. diff.	K	9.064	Capacity partition 2 %	19.747
Coefficient	kW/K	2.991	Capacity partition 3 %	17.353
Coolant IN	°C	6.000	Capacity partition 4 %	15.250
Coolant OUT	°C	12.000	Capacity partition 5 %	13.401
			Capacity partition 6 %	11.777

		Air IN	Air OUT
Temperature	°C	25.027	12.000
Rel. humidity	%	43.078	87.373
Abs. Humidity	g/kg	11.551	10.358
Density humid	kg/m³	0.867	0.908
Enthalpy humid	kJ/kg	54.606	38.205
Volumeflow humid	m³/h	6940.000	6624.314
Massflow dry	kg/h	5951.613	5951.613
Condensed water	kg/h	—	7.099
Surface temperature	°C	—	7.560

Tabla 4 Condiciones ambientales en el punto 5

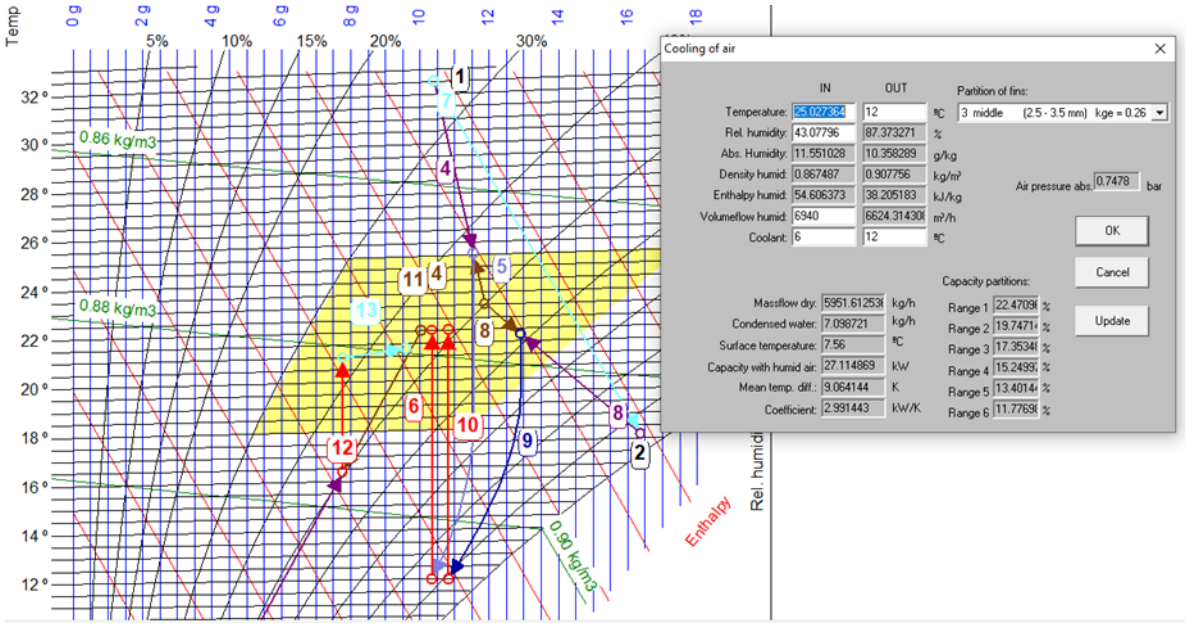


Figura 21: Condiciones ambientales mostradas en carta psicrométrica del punto 5

La forma de obtener esta condición teóricamente se determina a partir de la cantidad de calor removido por el serpentín de enfriamiento, un aspecto fundamentado en el principio de un flujo de aire caliente que circula sobre una superficie más fría. Este escenario es completamente ideal, debido a que la temperatura de la superficie del serpentín se mantiene por encima de la temperatura de rocío del aire y en este caso, no se produce condensación. Entonces, la humedad absoluta permanece constante, y el proceso se limita únicamente a una reducción de la temperatura del aire (retiro de calor sensible).

No obstante, en condiciones reales, la temperatura de la superficie del serpentín suele ser inferior a la temperatura de rocío del aire que circula por la unidad manejadora. En consecuencia, se genera condensación que implica una disminución de la humedad absoluta del aire y la aparición de un componente de enfriamiento latente, además del sensible. Esta situación es consistente con el comportamiento esperado del sistema, ya que el agua que circula por el serpentín se encuentra a una temperatura considerablemente menor que la del punto de rocío del aire ambiente. La humedad relativa, sin embargo, aumenta porque la capacidad del aire para contener vapor es menor a temperaturas más bajas, acercándolo a condiciones de saturación.

Por consecuencia, se puede implementar lo siguiente:

$$Q_T = M \cdot (h_1 - h_2) \qquad \textbf{E.16}$$

Correspondiendo:

QT	Calor total removido del aire [kW]
V	velocidad del aire m/s
M	Flujo másico del aire kg/s
h1	Entalpía del aire antes de circular por el serpentín de enfriamiento [kJ/kg]
h2	Entalpía del aire después de circular por el serpentín de enfriamiento [kJ/kg]

Los datos conocidos son los de temperatura, que se sabe que la temperatura del aire antes de circular por el serpentín de enfriamiento es el aire proveniente de la mezcla entre el aire exterior y aire de retorno (aire de suministro), que se determinó en la carta psicrométrica de 3000 m.s.n.m. como 24.2 °C y la temperatura deseada a alcanzar es de 12°C, por lo que se tiene lo siguiente:

$$Q_T = M \cdot (h_1 - h_2)$$ **E.17**

$$Q_T = M \cdot Cp_{MEZCLA} \cdot (T_2 - T_1)$$ **E.18**

$$Q_T = M \cdot (1.064 + 1.88w) \cdot (T_2 - T_1)$$ **E.19**

Siendo 1.064 y 1.88 son los valores correspondientes al calor específico del aire y del vapor del agua, respectivamente, que forman la mezcla inicial, los cuales son valores estándar.

w es la humedad absoluta de la mezcla, está expresada en kg de vapor/kg de aire seco y al estar en condiciones ideales permanece constante.

$$Q_T = 6412.56\frac{kg}{h} \cdot \left(\frac{1h}{3600s}\right)\left(1.006 + 1.88 \cdot \left(0.0124995\ \frac{kg_{v.a.}}{kg_{a.s.}}\right)\right) \cdot (12°C - 24.7°C)$$ **E.20**

$$Q_T = -23.29\ kW \qquad \textbf{E.21}$$

Como se observa, la capacidad de enfriamiento obtenida teóricamente, a partir del principio ideal de un flujo de aire que pasa sobre una superficie seca y más fría, presentó una diferencia aproximada de 4.29 kW respecto a la calculada con el software. Esta diferencia se debió a que el método ideal únicamente considera el retiro de calor sensible, suponiendo que no ocurre condensación. En cambio, el cálculo realizado por el software representa de manera más realista el proceso, ya que en condiciones prácticas el enfriamiento del aire no solo implica la extracción de calor sensible, sino también de calor latente, debido a la condensación del vapor de agua presente. Por lo que la humedad absoluta del aire disminuye y la carga térmica total de enfriamiento es mayor.

El proceso siguiente corresponde al calentamiento del aire con humedad absoluta constante (Heating of air without changing abs. humidity). Después de haber llevado el aire a condiciones de baja temperatura es necesario volver a calentarlo, procurando que el punto final (punto 6) se encuentre dentro del rango de humedad y temperatura necesarios para cumplir con las demandas requeridas por la normativa y adicionalmente conservar una estabilidad. Para este proceso se le indicó al software la temperatura que se desea alcanzar, por lo que se llevó los 12°C, resultante del proceso anterior, hasta 22°C como punto final de acondicionamiento.

6) Heating of air			
Capacity	kW	16.958	
		Air IN	Air OUT
Temperature	°C	12.000	22.000
Rel. humidity	%	87.373	46.430
Abs. Humidity	g/kg	10.358	10.358
Density humid	kg/m³	0.908	0.877
Enthalpy humid	kJ/kg	38.205	48.463
Volumeflow humid	m³/h	6624.314	6856.610
Massflow dry	kg/h	5951.613	5951.613

Tabla 5 Condiciones ambientales en el punto 6

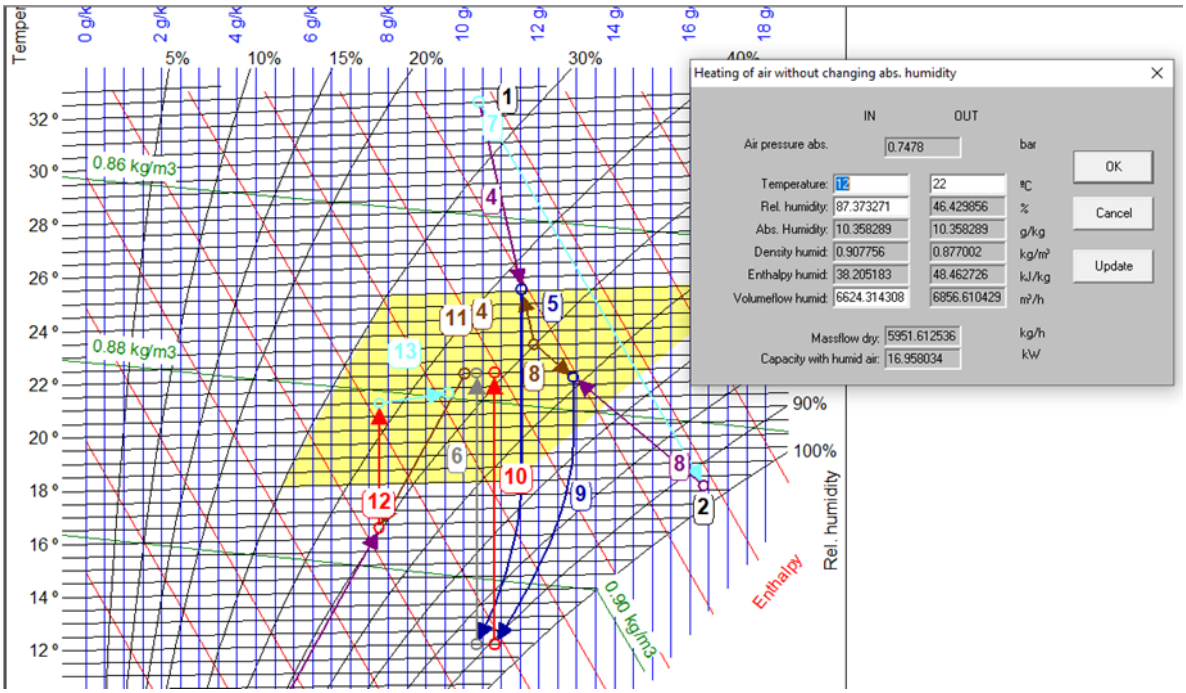


Figura 22: Condiciones ambientales mostradas en carta psicrométrica del punto 6

El método teórico podría explicarse con el principio del flujo de aire sobre una superficie seca y con mayor temperatura, entendiéndose como que no existirá condensación en el serpentín de calefacción, ya que la temperatura de este se encontrará por encima del punto de rocío del aire.

El calor total suministrado por el serpentín de calentamiento está dado por:

$$Q_T = M \cdot Cp_{MEZCLA} \cdot (T_2 - T_1) \qquad \textbf{E.22}$$

$$Q_T = M \cdot (1.064 + 1.88w) \cdot (T_2 - T_1) \qquad \textbf{E.23}$$

w responde a la humedad absoluta y considerando la que fue arrojada por el software en el proceso anterior (ya que esta es más adecuada al acercarse más a los resultados reales), se mantiene constante, por lo que:

$$Q_T = 6412.56\frac{kg}{h} \cdot \left(\frac{1h}{3600s}\right)(1.006 + 1.88 \cdot \left(0.0103583\frac{kg_{v.a.}}{kg_{a.s.}}\right) \cdot (22°C - 12°C) \qquad \textbf{E.24}$$

$$Q_T = 18.2664kW \qquad \textbf{E.25}$$

Como se observa, la capacidad de calefacción obtenida bajo un sustento teórico, basándose en el principio ideal de un flujo de aire que pasa sobre una superficie seca y más caliente,

presentó una diferencia aproximada de 1 kW respecto a la calculada por el software. Dicha variación pudo deberse a que el método ideal únicamente considera el intercambio de calor sensible bajo condiciones simplificadas, mientras que el software incorporó factores propios de un proceso real, tales como las pérdidas térmicas, la eficiencia del equipo y las resistencias al calor en la transferencia entre la superficie caliente y el aire. Estos aspectos generaron una discrepancia entre el valor teórico y el práctico, siendo este último una representación más cercana al comportamiento real del sistema.

6.2.4.2 Proceso correspondiente a verano húmedo

El proceso referido a los cálculos estimados para las condiciones ambientales en un verano húmedo implicó indicar al software el punto de condiciones ambientales simulando el caso de una lluvia a partir del punto 1, entonces el punto 2 tuvo las mismas condiciones del lugar, pero ahora tomando en cuenta las máximas alcanzadas en verano, teniendo altos registros de humedad absoluta y llevando el aire a casi un 100% de saturación. Esto se consiguió indicando al software un aumento en la humedad (Mostening, punto 7) a partir de los parámetros del punto 1 y posteriormente se obtuvieron las condiciones de verano húmedo observadas en el punto 2.

Para simular una lluvia fue necesario que seleccionara el medio con el cual se incrementará la humedad, pudiendo ser agua, vapor de agua o vapor saturado. Al haber sido requerida una simulación de lluvia, la opción adecuada es *water* (agua), la cual se encuentra estandarizada a una temperatura de 15 °C. Con esta configuración es posible reproducir las condiciones de verano en su punto máximo de humedad.

7) Moistening of air with water			
Capacity	kW	0.691	
Moistening flow	kg/h	39.916	
Moistening temperature	°C	15.000	
Moistening enthalpy	kJ/kg	62.302	
		Air IN	Air OUT
Temperature	°C	32.000	17.673
Rel. humidity	%	26.000	95.005
Abs. Humidity	g/kg	10.422	16.373
Density humid	kg/m³	0.848	0.887
Enthalpy humid	kJ/kg	58.888	59.259
Volumeflow humid	m³/h	7990.000	7686.502
Massflow dry	kg/h	6707.460	6707.460

Tabla 6 Condiciones ambientales en el punto 7

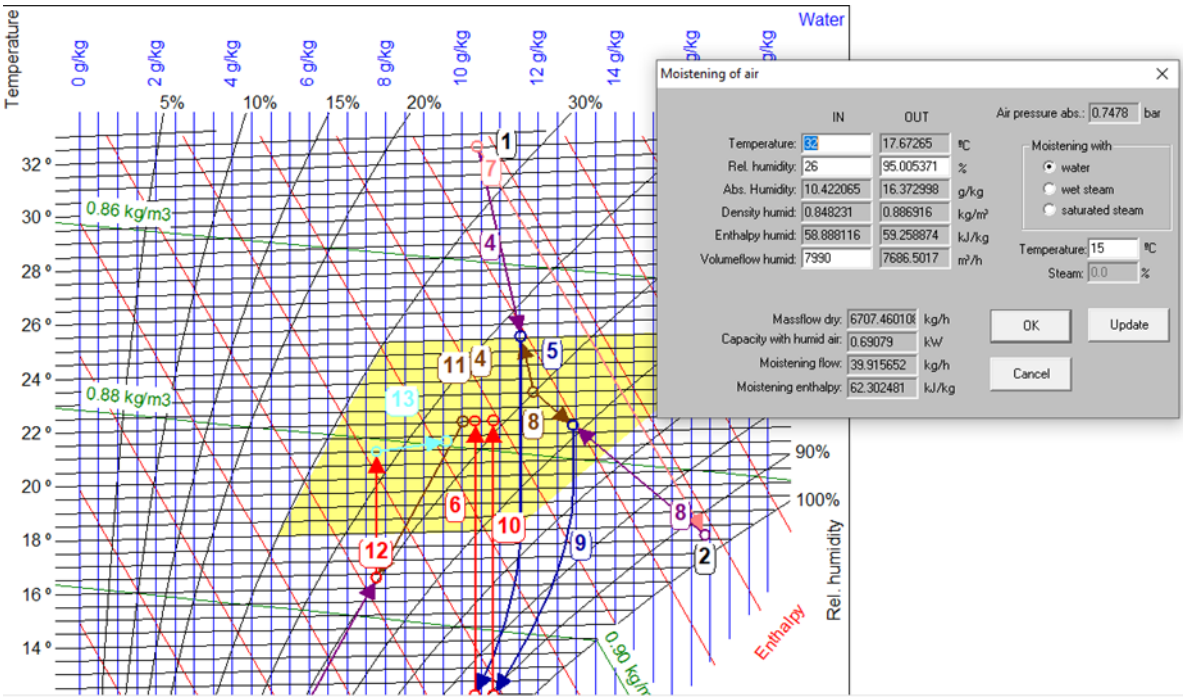


Figura 23: Condiciones ambientales mostradas en carta psicrométrica del punto 7

Por lo que, las nuevas condiciones ambientales se definieron como:

2) Point process of air

		Air
Temperature	°C	17.673
Rel. humidity	%	95.000
Abs. Humidity	g/kg	16.372
Density humid	kg/m³	0.887
Enthalpy humid	kJ/kg	59.258
Volumeflow humid	m³/h	1600.000
Massflow dry	kg/h	1396.205

Tabla 7 Condiciones ambientales en el punto 2

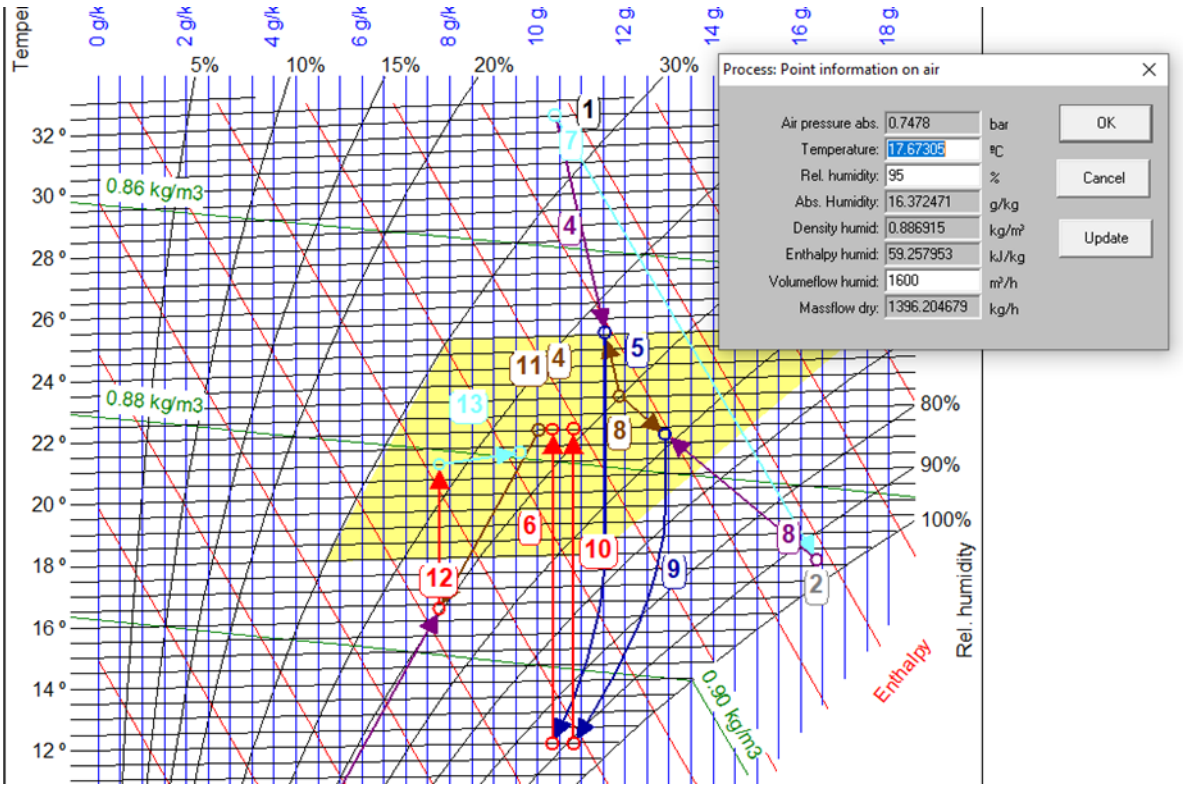


Figura 24: Condiciones ambientales mostradas en carta psicrométrica del punto 2

Al llegar al punto 2 realicé nuevamente el proceso de acondicionamiento, similar al empleado en el caso de verano seco, constituido de la mezcla de aire exterior y el aire de retorno, seguido del enfriamiento y posteriormente la calefacción, por lo que el análisis tendrá el mismo procedimiento:

8) Mixing of 2 air flows

		Air flow 1	Air flow 1	Air flow 1
Temperature	°C	17.673	23.000	21.754
Rel. humidity	%	95.000	50.000	58.570
Abs. Humidity	g/kg	16.372	11.880	12.925
Density humid	kg/m³	0.887	0.873	0.876
Enthalpy humid	kJ/kg	59.258	53.358	54.730
Volumeflow humid	m³/h	1600.000	5340.000	6939.977
Massflow dry	kg/h	1396.205	4608.438	6004.643
Condensed water	kg/h	–	–	0.000

Tabla 8 Condiciones ambientales en el punto 8

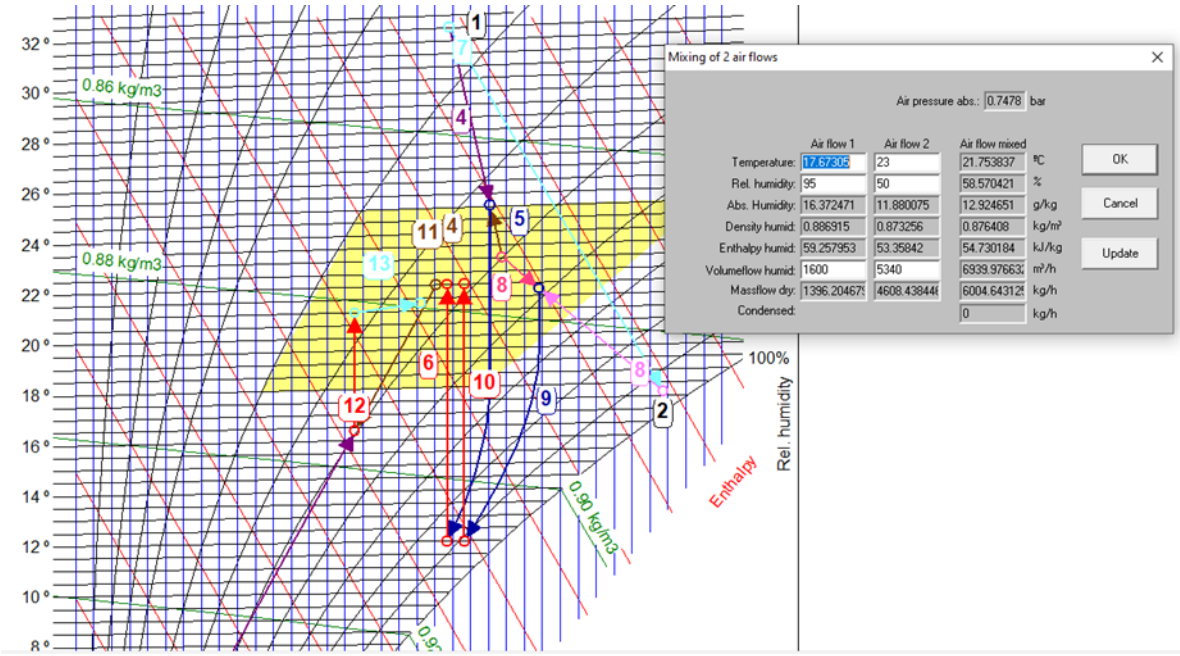


Figura 25: Condiciones ambientales mostradas en carta psicrométrica del punto 8

Obteniendo las condiciones de la mezcla, teóricamente:

$$\left(1600\frac{m^3}{h}+\right)\cdot\left(0.924\frac{kg}{m^3}\right)=1478.4\frac{kg}{h} \qquad \textbf{E.26}$$

$$\left(5340\frac{m^3}{h}+\right)\cdot\left(0.924\frac{kg}{m^3}\right)=4934.16\frac{kg}{h} \qquad \textbf{E.27}$$

$$1478.4\frac{kg}{h}+4934.16\frac{kg}{h}=6412.56\frac{kg}{h} \qquad \textbf{E.28}$$

$$M_1w_1+M_2w_2=M_3w_3 \qquad \textbf{E.29}$$

$$w_3=\frac{M_1w_1+M_2\,w_2}{M_3\,w_3} \qquad \textbf{E.30}$$

$$w_3=\frac{\left(\left(1478.4\frac{kg}{h}\right)\cdot\left(17.4\frac{g}{kg}\right)+\left(4934.16\frac{kg}{h}\right)\cdot\left(12.7\frac{g}{kg}\right)\right)}{6412.56\frac{kg}{h}} \qquad \textbf{E.31}$$

$$w_3 = 13.7835\,\frac{g}{kg}$$ **E.32**

$$M_1\,h_1 + M_2 h_2 = M_3 h_3$$ **E.33**

$$h_3 = \frac{M_1 h_1 + M_2\,h_2}{M_3}$$ **E.34**

$$h_3 = \frac{\left(\left(1478.4\,\frac{kg}{h}\right)\cdot\left(62\,\frac{kJ}{kg}\right) + \left(4934.16\,\frac{kg}{h}\right)\cdot\left(55\,\frac{kJ}{kg}\right)\right)}{6412.56\,\frac{kg}{h}}$$ **E.35**

$$h_3 = 56.6138\,\frac{kJ}{kg}$$ **E.36**

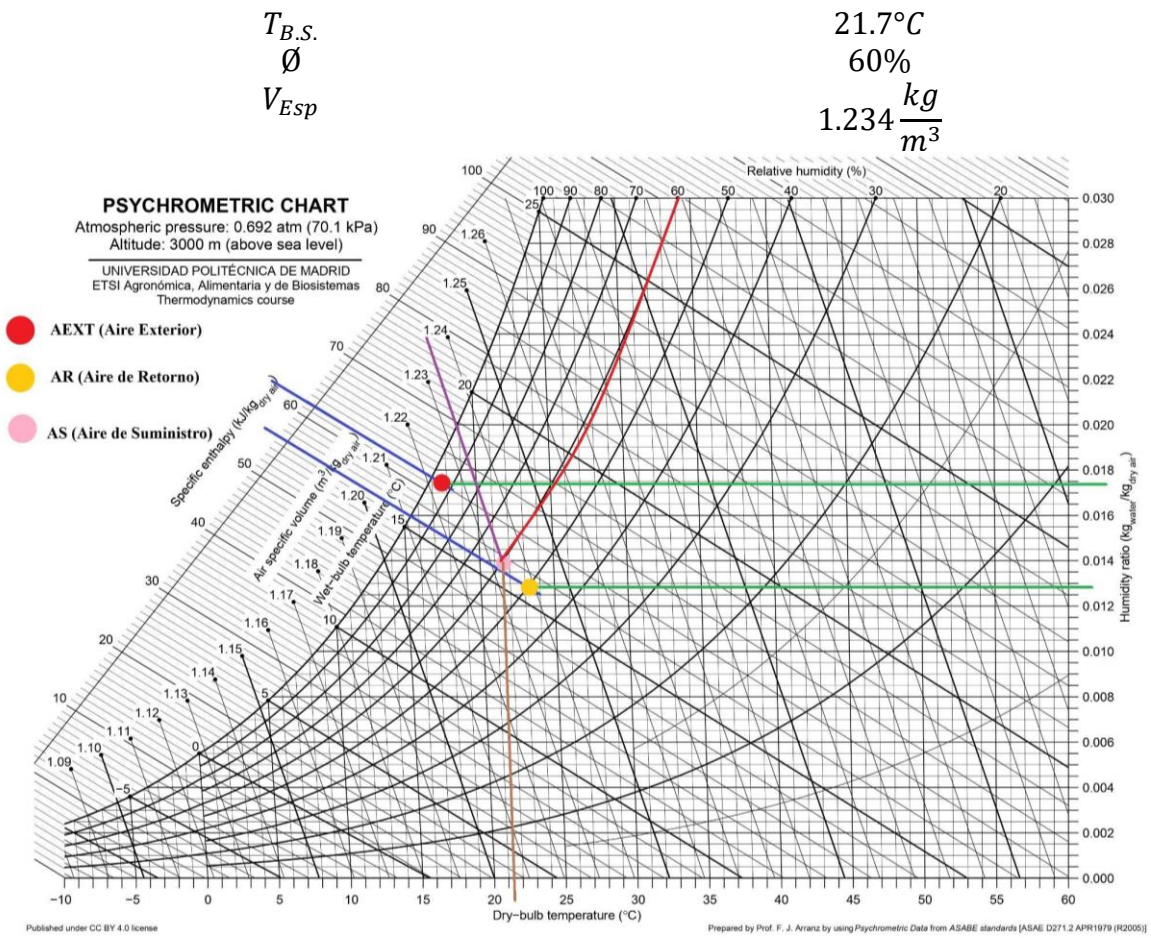


Figura 26: Condiciones psicrométricas reales obtenidas de la memoria de cálculo (verano húmedo)

9) Cooling of air – Partition of fins (2.5 – 3.5 mm)

Capacity	kW	25.556	Capacity partition 1 %	20.213
Mean temp. diff.	K	7.726	Capacity partition 2 %	18.641
Coefficient	kW/K	3.308	Capacity partition 3 %	17.191
Coolant IN	°C	6.000	Capacity partition 4 %	15.853
Coolant OUT	°C	12.000	Capacity partition 5 %	14.620
			Capacity partition 6 %	13.483

		Air IN	Air OUT
Temperature	°C	21.754	12.000
Rel. humidity	%	58.570	91.328
Abs. Humidity	g/kg	12.925	10.835
Density humid	kg/m³	0.876	0.908
Enthalpy humid	kJ/kg	54.730	39.409
Volumeflow humid	m³/h	6940.000	6688.396
Massflow dry	kg/h	6004.663	6004.663
Condensed water	kg/h	–	12.546
Surface temperature	°C	–	7.560

Tabla 9 Condiciones ambientales en el punto 9

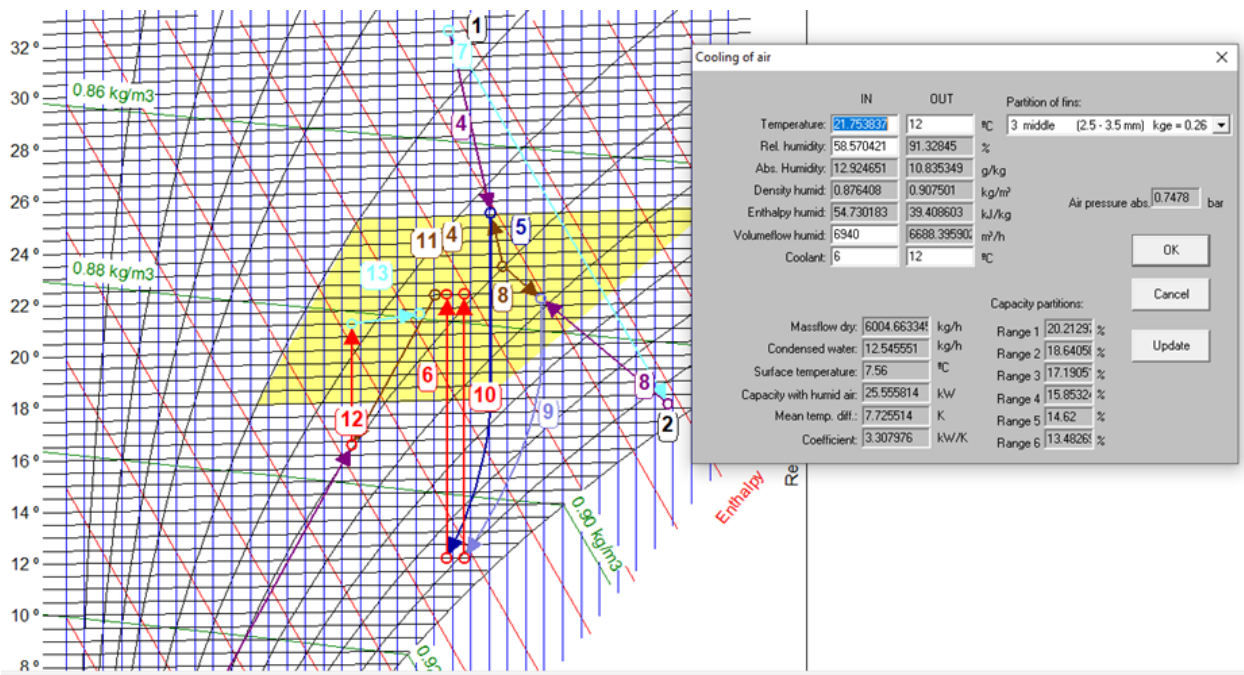


Figura 27: Condiciones ambientales mostradas en carta psicrométrica del punto 9

Obteniendo el calor retirado total de manera teórica:

$$Q_T = M \cdot (h_1 - h_2)$$

E.37

$$Q_T = M \cdot Cp_{MEZCLA} \cdot (T_2 - T_1)$$ **E.38**

$$Q_T = M \cdot (1.064 + 1.88w) \cdot (T_2 - T_1)$$ **E.39**

$$Q_T = 6412.56 \frac{kg}{h} \cdot \left(\frac{1h}{3600s}\right) \cdot \left(1.064 + 1.88 \cdot \left(0.0137835 \frac{kg_{v.a.}}{kg_{a.s.}}\right)\right) \cdot (12°C - 21.7°C)$$ **E.40**

$$Q_T = -17.83\ kW$$ **E.41**

10) Heating of air

Capacity	kW	17.124	
		Air IN	Air OUT
Temperature	°C	12.000	22.000
Rel. humidity	%	91.328	48.532
Abs. Humidity	g/kg	10.835	10.835
Density humid	kg/m³	0.908	0.877
Enthalpy humid	kJ/kg	39.409	49.675
Volumeflow humid	m³/h	6688.373	6922.929
Massflow dry	kg/h	6004.643	6004.643

Tabla 10 Condiciones ambientales en el punto 10

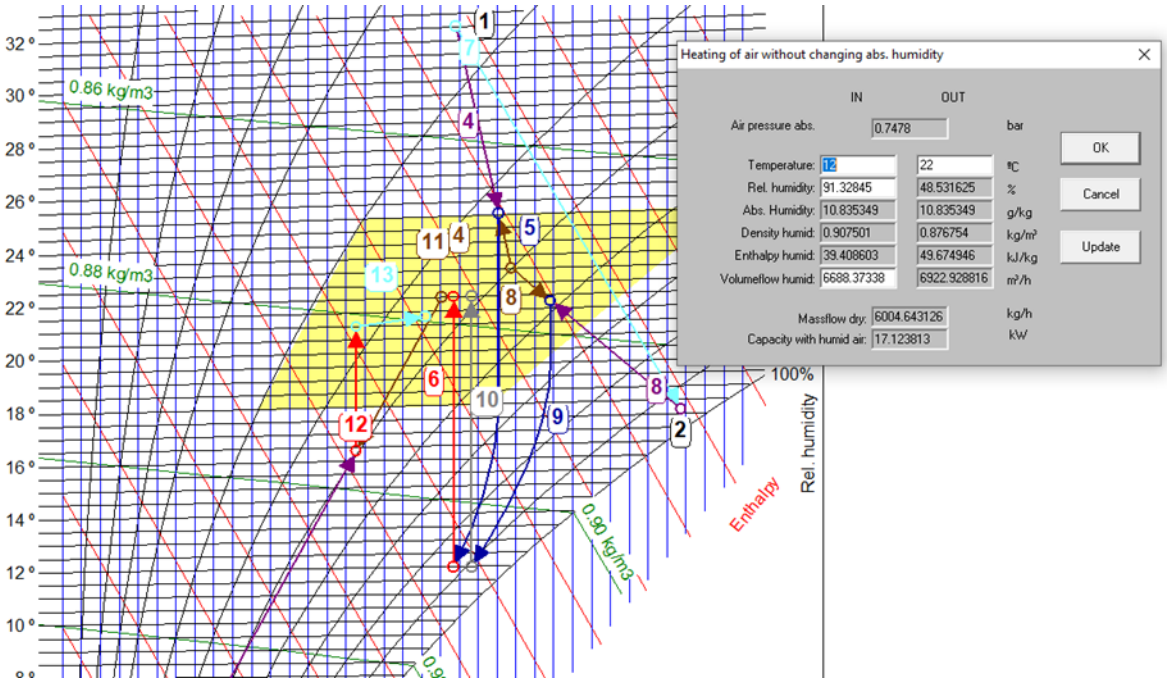


Figura 28: Condiciones ambientales mostradas en carta psicrométrica del punto 10

El calor total suministrado por el serpentín de calentamiento está dado por:

$$Q_T = M \cdot Cp_{MEZCLA} \cdot (T_2 - T_1) \qquad \textbf{E.42}$$

$$Q_T = M \cdot (1.064 + 1.88w) \cdot (T_2 - T_1) \qquad \textbf{E.43}$$

w responde a la humedad absoluta y considerando la arrojada por el software en el proceso anterior (ya que esta es la más aproximada a los resultados reales) y que se mantiene constante, se tiene lo siguiente:

$$Q_T = 6412.56 \frac{kg}{h} \cdot \left(\frac{1h}{3600s}\right)\left(1.064 + 1.88 \cdot \left(0.0108353 \frac{kg_{v.a.}}{kg_{a.s.}}\right)\right) \cdot (22°C - 12°C) \qquad \textbf{E.44}$$

$$Q_T = 18.2824\ kW \qquad \textbf{E.45}$$

6.2.4.3 Proceso correspondiente a invierno

Para el punto 3 se tuvieron las condiciones del mismo sitio pero tomando en cuenta ahora las críticamente más bajas en cuanto a temperatura y consecuentemente humedad en invierno, indicadas en el punto 3 mostradas en las figuras 37 y 38.

3) Point process of air

		Air
Temperature	°C	-1.000
Rel. humidity	%	20.000
Abs. Humidity	g/kg	0.937
Density humid	kg/m³	0.956
Enthalpy humid	kJ/kg	1.336
Volumeflow humid	m³/h	1600.000
Massflow dry	kg/h	1528.954

Tabla 11 Condiciones ambientales en el punto 3

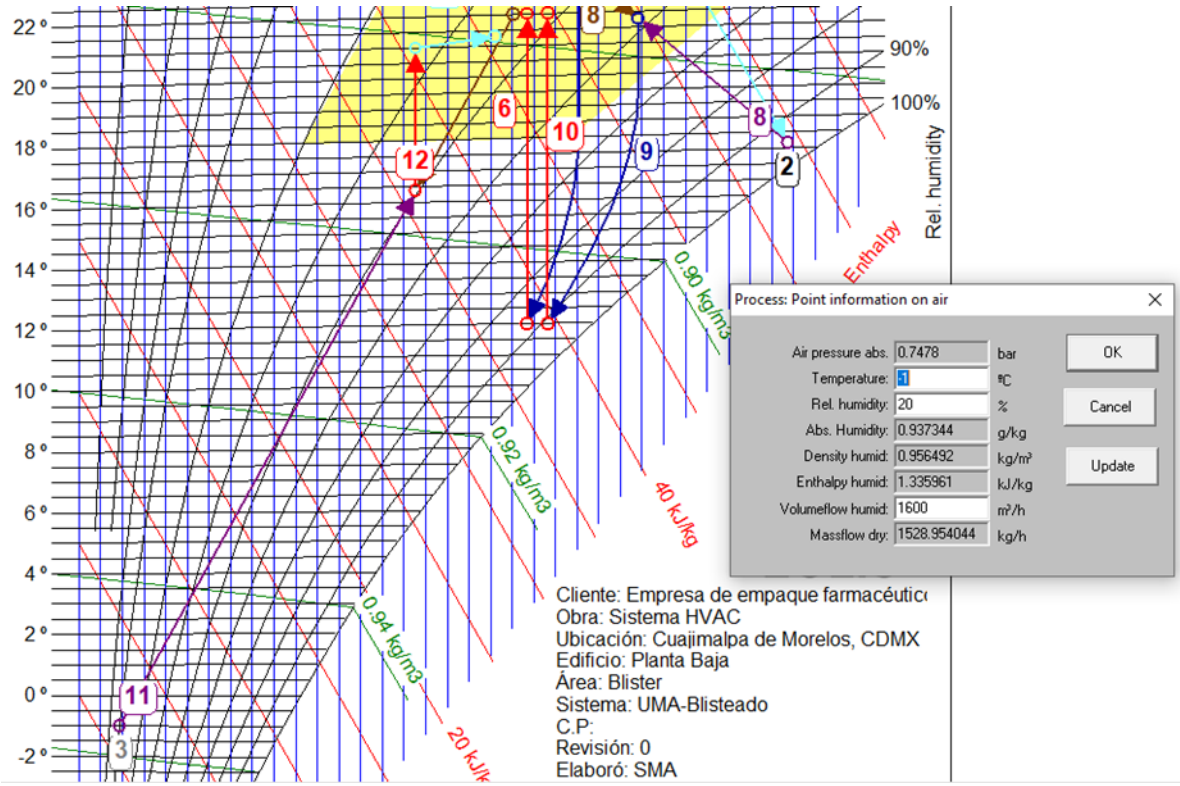


Figura 29: Condiciones ambientales mostradas en carta psicrométrica del punto 3

Al igual que en los procesos anteriores, el aire de suministro resultó de la mezcla del retorno de los cuartos y el aire exterior en invierno, por lo que las condiciones de mezcla son las siguientes:

11) Mixing of 2 air flows

		Air flow 1	Air flow 1
Temperature	°C	-1.000	22.000
Rel. humidity	%	20.000	45.000
Abs. Humidity	g/kg	0.937	10.034
Density humid	kg/m³	0.956	0.877
Enthalpy humid	kJ/kg	1.336	47.639
Volumeflow humid	m³/h	1600.000	5340.000
Massflow dry	kg/h	1528.954	4637.554

Condensed water	kg/h	—	—

Tabla 12 Condiciones ambientales en el punto 11

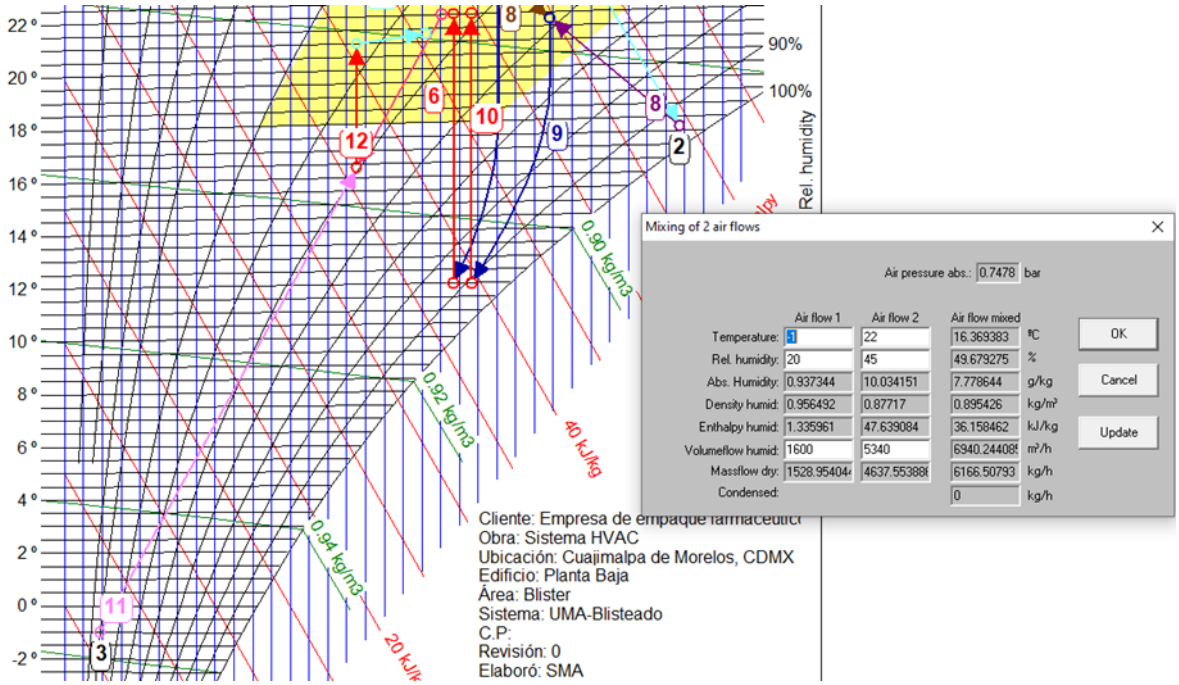


Figura 30: Condiciones ambientales mostradas en carta psicrométrica del punto 11

Obteniendo las condiciones de la mezcla teóricamente:

$$\left(1600\frac{m^3}{h}+\right)\cdot\left(0.924\frac{kg}{m^3}\right)=1478.4\frac{kg}{h} \qquad \textbf{E.46}$$

$$\left(5340\frac{m^3}{h}+\right)\cdot\left(0.924\frac{kg}{m^3}\right)=4934.16\frac{kg}{h} \qquad \textbf{E.47}$$

$$1478.4\frac{kg}{h}+4934.16\frac{kg}{h}=6412.56\frac{kg}{h} \qquad \textbf{E.48}$$

$$M_1w_1+M_2w_2=M_3w_3 \qquad \textbf{E.49}$$

$$w_3=\frac{M_1w_1+M_2\,w_2}{M_3\,w_3} \qquad \textbf{E.50}$$

$$w_3 = \frac{\left(\left(1478.4\,\frac{kg}{h}\right)\cdot\left(1\,\frac{g}{kg}\right)+\left(4934.16\,\frac{kg}{h}\right)\cdot\left(10.7\,\frac{g}{kg}\right)\right)}{6412.56\,\frac{kg}{h}} \qquad \textbf{E.51}$$

$$w_3 = 8.4636\,\frac{g}{kg} \qquad \textbf{E.52}$$

$$M_1\,h_1 + M_2 h_2 = M_3 h_3 \qquad \textbf{E.53}$$

$$h_3 = \frac{M_1 h_1 + M_2\,h_2}{M_3} \qquad \textbf{E.54}$$

$$h_3 = \frac{\left(\left(1478.4\,\frac{kg}{h}\right)\cdot\left(2\,\frac{kJ}{kg}\right)+\left(4934.16\,\frac{kg}{h}\right)\cdot\left(49\,\frac{kJ}{kg}\right)\right)}{6412.56\,\frac{kg}{h}} \qquad \textbf{E.55}$$

$$h_3 = 38.1642\,\frac{kJ}{kg} \qquad \textbf{E.56}$$

$T_{B.S.}$	$17.3°C$
Ø	45%
V_{Esp}	$1.205\,\frac{kg}{m^3}$

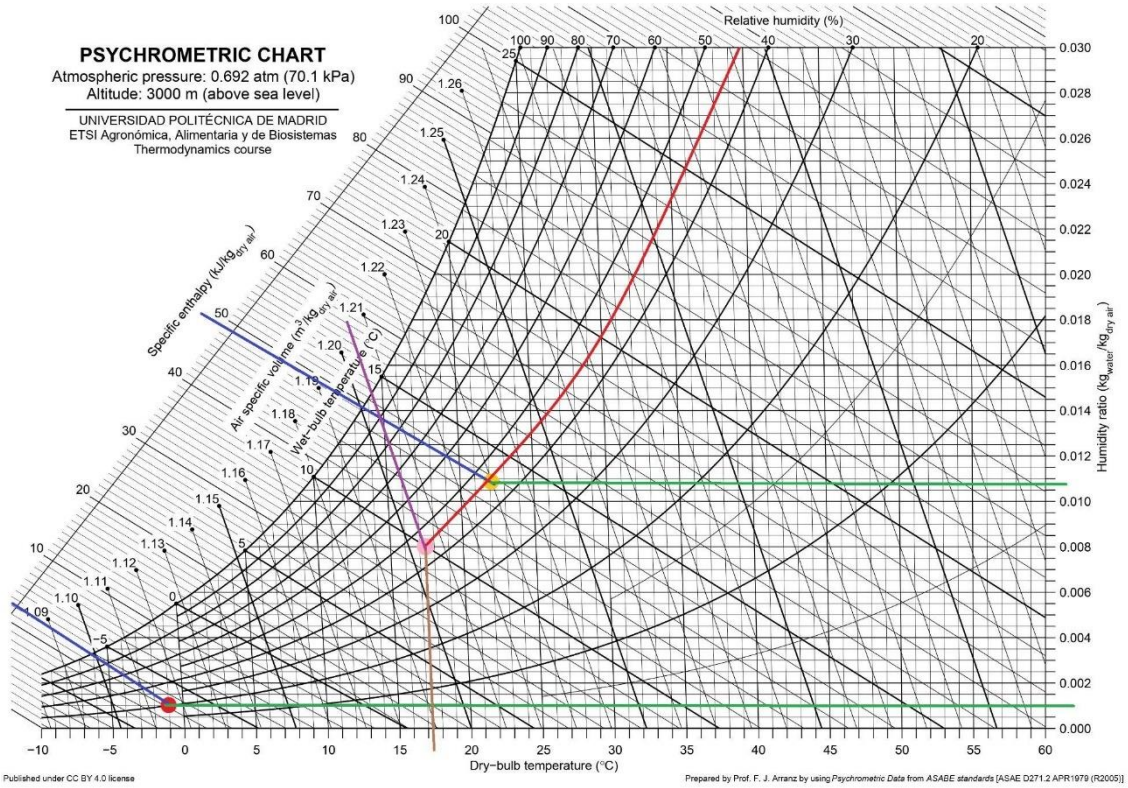


Figura 31: Condiciones psicrométricas reales obtenidas de la memoria de cálculo (invierno)

Posteriormente, debido a las condiciones en las que se encontraba la mezcla de aire, fue necesario realizar una adición de calor sensible con el fin de alcanzar los valores de temperatura y humedad establecidos por la normativa. Para ello, propuse un proceso de calentamiento en el punto 12, resultando fundamental para asegurar que el punto final (el aire climatizado que será suministrado a cada cuarto) cumpliera con los estándares requeridos. Es importante considerar que el setpoint para calefacción debía tener 1°C por debajo del de verano, ya que el sensor electrónico que da la señal para activar los sistemas debe tener programada una señal distinta para diferenciar cuando se tengan condiciones ambientales de verano e invierno.

12) Heating of air

Capacity	kW		
		Air IN	Air IN
Capacity	kW	8.099	—
Temperature	°C	16.369	21.000
Rel. humidity	%	49.679	37.214
Abs. Humidity	g/kg	7.779	7.779
Density humid	kg/m³	0.895	0.881
Enthalpy humid	kJ/kg	36.158	40.887
Volumeflow humid	m³/h	6940.244	7051.246
Massflow dry	kg/h	6166.508	6166.508

Tabla 13 Condiciones ambientales en el punto 12

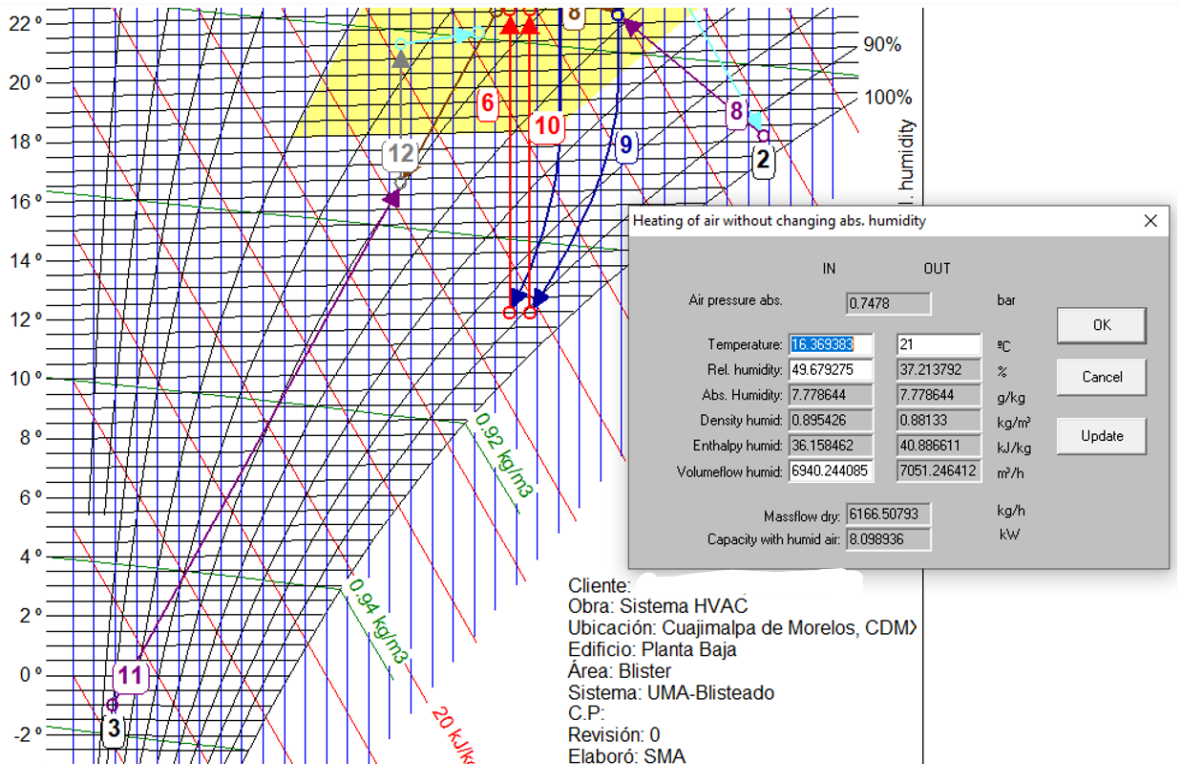


Figura 32: Condiciones ambientales mostradas en carta psicrométrica del punto 12

El calor total suministrado por el serpentín de calentamiento está dado por:

$$Q_T = M \cdot Cp_{MEZCLA} \cdot (T_2 - T_1) \qquad \textbf{E.57}$$

$$Q_T = M \cdot (1.064 + 1.88w) \cdot (T_2 - T_1) \qquad \textbf{E.58}$$

w siendo la humedad absoluta y considerando que es un proceso de adición de calor latente, se considera que esta se mantiene constante después del proceso de mezcla, por lo que:

$$Q_T = 6412.56\frac{kg}{h} \cdot \left(\frac{1h}{3600s}\right)\left(1.064 + 1.88 \cdot \left(0.0084636\frac{kg_{v.a.}}{kg_{a.s.}}\right)\right) \cdot (21°C - 17.3°C) \qquad \textbf{E.59}$$

$$Q_T = 7.1173\ kW \qquad \textbf{E.60}$$

Una vez realizado el proceso de calefacción se observó que las condiciones del aire en el sistema se convirtieron en las deseadas, respetando lo establecido en la normativa. A pesar de esto, es posible observar que el punto 12 aún se encuentra alejado del centro del campo de temperatura y humedad deseados, estando en los límites de este. Para este caso en particular, el acto más viable fue el de suministrar calor latente al aire, propiedad que se

obtuvo implementando una humidificación isotérmica, lo que consistió en llevar el aire a parámetros más cercanos a los definidos en las condiciones de verano seco y húmedo.

El procedimiento correcto para conseguirlo fue utilizando nuevamente la herramienta Moistening (Punto 13) y elegir el modo de humidificación ahora con vapor saturado (saturated steam) a 120°C, con el fin de lograr una humidificación rápida y uniforme del aire, controlando con precisión la humedad absoluta sin generar condensación en los ductos o afectar la calidad del aire interior.

13) Moistened air with saturated steam			
Capacity	kW	8.459	
Moistening flow	kg/h	11.257	
Moistening temperature	°C	120.000	
Moistening enthalpy	kJ/kg	2704.970	
Moistening flow	kg/h	11.257	
		Air IN	Air IN
Temperature	°C	21.000	21.295
Rel. humidity	%	37.214	44.994
Abs. Humidity	g/kg	7.779	9.604
Density humid	kg/m³	0.881	0.879
Enthalpy humid	kJ/kg	40.887	45.825
Volumeflow humid	m³/h	7051.246	7078.782
Massflow dry	kg/h	6166.508	6166.508

Tabla 14 Condiciones ambientales en el punto 13

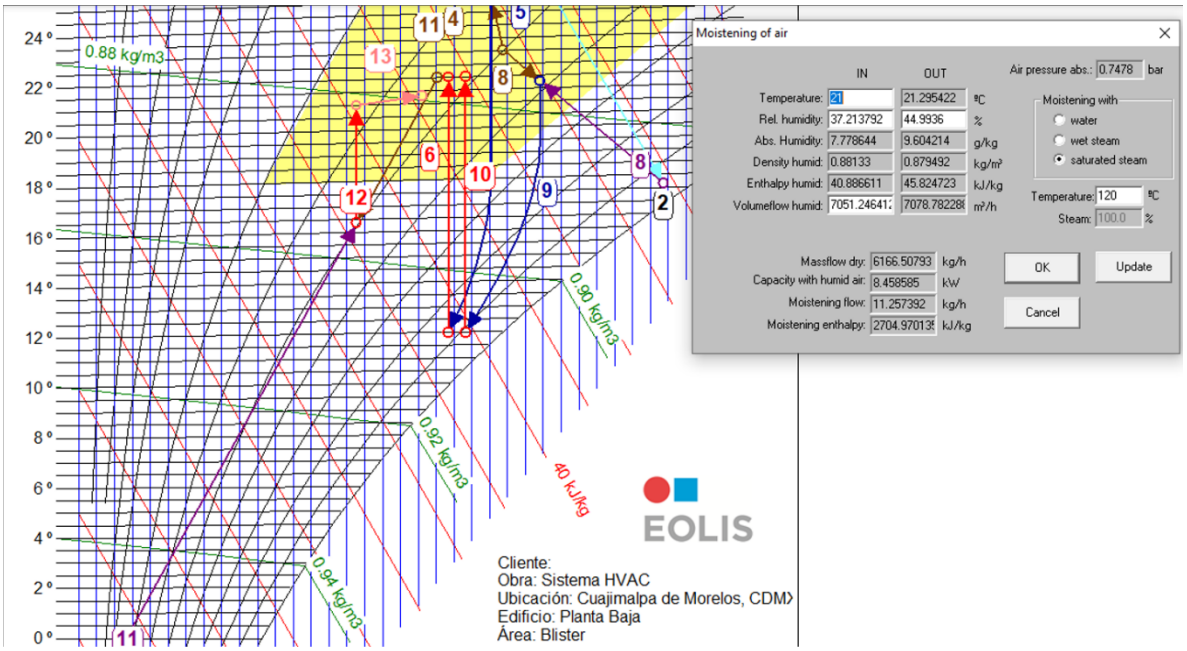


Figura 33: Condiciones ambientales mostradas en carta psicrométrica del punto 13

Con esta acción, se pudo observar que las condiciones del aire alcanzaron un punto óptimo y de mayor estabilidad, alejándose de los límites y evitando el riesgo de salirse del rango de

operación deseado. Asimismo, se nota un leve aumento en la temperatura, a pesar de que el proceso es teóricamente isotérmico.

Esto ocurrió porque, al inyectar vapor saturado, no solo se transfirió calor latente para evaporar el agua, sino también una pequeña cantidad de calor sensible. El vapor ingresó a una temperatura superior a la del aire, lo que provocó un incremento real en la temperatura del flujo de aire.

El sustento teórico correspondiente se describe como el flujo de vapor necesario para humidificar el aire, que puede obtenerse al tener presente dos principios: balance de masa y balance de energía. (ÇENGEL, BOLES, & KANOĞLU, 2019)

En el balance de masa, la razón del flujo másico del aire seco (el aire de suministro) permanece constante:

$$m_{as,In} = m_{a,sOut} = m_{as} \qquad \textbf{E.61}$$

La razón del flujo másico del vapor de agua en el aire se incrementa por una cantidad igual a la razón de evaporación $m_{Saturated\ steam}$

$$m_{v,In} + m_{Saturated\ steam} = m_{v,Out} \qquad \textbf{E.62}$$

Como $w = m_v/m_{as}$, al dividir la E.60 entre m_{as} entonces:

$$w_{In} + \frac{m_{Saturated\ steam}}{m_{as}} = w_{Out} \qquad \textbf{E.63}$$

El balance de energía por kg de aire seco es

$$h_{In} + \left(\frac{m_{Saturated\ steam}}{m_{as}} \cdot h_{saturated\ steam}\right) = h_{Out} \qquad \textbf{E.64}$$

Siendo $h_{saturated\ steam}$ la entalpía específica del vapor de agua inyectado (tomada de tablas de vapor saturado, a 120 °C en este caso).

$$h_g@120°C = 2706\frac{kJ}{kg} \qquad \textbf{E.65}$$

El proceso de humidificación se considera isotérmico, por lo que la temperatura se mantendrá constante, entonces:

$$h_{Out} = C_{pa}T + w_{Out}(h_{fg} + C_{Pv}T) \qquad \textbf{E.66}$$

$$h_{In} = C_{pa}T + w_{In}(h_{fg} + C_{Pv}T) \qquad \textbf{E.67}$$

Dónde:

C_{Pa}	$1.006\,\frac{kJ}{kg}\cdot °C$	$calor\ específico\ aire\ seco$
C_{Pv}	$1.88\,\frac{kJ}{kg}\cdot °C$	$calor\ específico\ vapor$
h_{fg}	$2500\,\frac{kJ}{kg}$	$Calor\ latente\ de\ vaporización\ a\ 0\ °C$

Haciendo la diferencia de entalpías:

$$h_{Out} - h_{In} = (w_{Out} - w_{In})(h_{fg} + C_{Pv}T) \qquad \textbf{E.68}$$

Y tomando en cuenta el balance de energía por kg de aire seco e igualando ambas expresiones, entonces:

$$\frac{m_{Saturated\ steam}}{m_{as}} = \frac{(w_{Out} - w_{In})\cdot\left(h_{fg} + C_{Pv}T\right)}{h_{saturated\ steam}} \qquad \textbf{E.69}$$

Y como:

$$\frac{m_{Saturated\ steam}}{m_{as}} = w_{Out} - w_{In} \qquad \textbf{E.70}$$

Finalmente:

$$\frac{m_{Saturated\ steam}}{m_{as}} = \frac{h_{Out} - h_{In}}{h_{saturated\ steam}} \qquad \textbf{E.71}$$

Tomando los valores de h_{out} y h_{in} del software, el flujo de aire total suministrado y la entalpía de $h_{saturated\ steam}$ obtenida de tablas:

$$m_{Saturated\ steam} = \frac{h_{Out} - h_{In}}{h_{saturated\ steam}} \cdot m_{as} \qquad \textbf{E.72}$$

$$m_{Saturated\ steam} = \left(\frac{45.8247\,\frac{kJ}{kg} - 40.8866\,\frac{kJ}{kg}}{2706\,\frac{kJ}{kg}} \right) \cdot \left(6412.56\,\frac{kg}{h} \right) \qquad \textbf{E.73}$$

$$m_{Saturated\ steam} = 11.7021\ kg/h\ de\ vapor\ saturado\ a\ 120°C \qquad \textbf{E.74}$$

Que al hacer la comparativa, este valor es muy cercano al obtenido en el software y es completamente válido para la solicitud de un equipo humidificador.

Posterior al análisis de cada uno de los procesos contenidos en este sistema de climatización, la carta psicrométrica resultante para este se muestra a continuación:

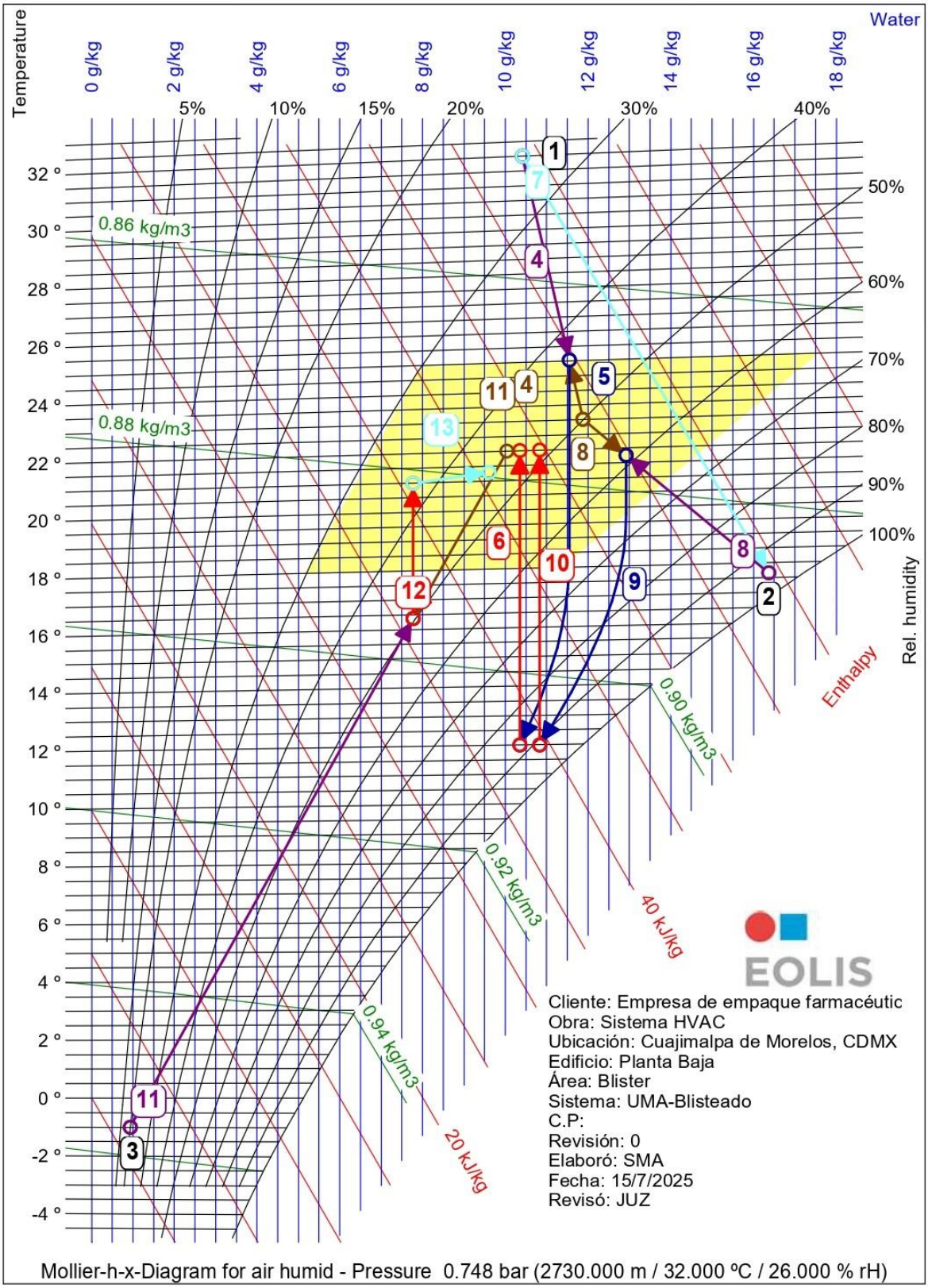


Figura 34: Carta psicronétrica resultante en los tres procesos principales

6.2.5 Selección basada en el cálculo de capacidades reales de equipos auxiliares

Una vez finalizado el análisis psicrométrico y habiendo determinado las capacidades requeridas para cumplir con el acondicionamiento del aire, el siguiente paso consistió en la selección de los equipos auxiliares adecuados. Este proceso se basó en las demandas más críticas de calefacción, enfriamiento y humidificación, considerando las tres condiciones climáticas de diseño evaluadas: verano seco, verano húmedo e invierno.

La metodología más adecuada consistió en comparar las capacidades arrojadas por el software de la carta psicrométrica, en cada proceso, con las capacidades nominales disponibles en el mercado, de acuerdo con la oferta de los fabricantes especializados en equipos HVAC. Con ello se garantizó que la selección no sólo acatara la carga térmica y de humedad estimada, sino que también se ajustara a los estándares de eficiencia y confiabilidad.

En la práctica, la selección se realizó tomando como referencia el proceso más crítico, es decir, el de mayor demanda de energía. A partir de este punto, se eligió el modelo línea de equipos cuyas especificaciones técnicas se mantuvieran dentro del rango de operación establecido. Adicionalmente se recomienda la aplicación de un margen de seguridad razonable, con el objetivo de compensar posibles desviaciones entre las condiciones de cálculo y la operación real, así como pérdidas no contempladas durante la etapa de diseño.

6.2.5.1 Equipo para enfriamiento

Cuando se desea seleccionar un equipo cuya función será llevar a cabo un proceso de enfriamiento del aire, es necesario en primera instancia consultar al cliente respecto a la disponibilidad de espacios, presupuesto y, en general, el tipo de acondicionamiento que se busca implementar. Esta consideración se toma con base en sus condiciones y recursos, pero también puede estar fundamentada en el criterio del diseñador, quien debe determinar qué alternativa resulta más conveniente para el sistema tomando en cuenta factores como la optimización energética, operativa y económica.

Existen distintos equipos cuya finalidad es brindar un proceso de enfriamiento al sistema; sin embargo, de acuerdo con mi criterio y las necesidades específicas del cliente, la propuesta más adecuada fue la implementación de un equipo de expansión directa (DX). Las razones principales son las siguientes:

1. El sistema consta solamente de una unidad manejadora de aire y por ello no es conveniente elegir una unidad generadora de agua helada (chiller), ya que para el caso específico de este proyecto no se requiere una infraestructura tan compleja ni una demanda tan elevada.

2. La instalación de una unidad de expansión directa (DX) es más sencilla, lo cual reduce los tiempos de montaje y se traduce en una disminución de costos, tanto en la inversión inicial como en mano de obra y puesta en marcha.

3. El sistema DX requiere menos espacio físico al no necesitar bombas de alta potencia, tuberías hidrónicas ni torre de enfriamiento, haciéndolo más adecuado para instalaciones compactas. Adicionalmente, el cliente no contaba con un sistema hidrónico y para este caso en general no es una opción viable económicamente.

4. Al tratarse de una sola UMA, la operación directa del refrigerante sobre el serpentín permite una respuesta más rápida en el acondicionamiento del aire.

5. En proyectos pequeños, los sistemas DX presentan mejor eficiencia en cargas parciales, ya que solo trabajan en función del aire que realmente debe acondicionarse.

6. Los costos de mantenimiento son menores, dado que no hay que supervisar accesorios adicionales como circuitos de agua, bombas o intercambiadores.

Después de hacer el análisis del equipo auxiliar más adecuado a implementar, fue necesario regresar a la carta psicrométrica y comparar las capacidades de enfriamiento arrojadas en cada sistema. Para el caso de este proyecto se tuvieron dos, correspondientes al verano seco y verano húmedo, de los cuales la capacidad más crítica fue la realizada en el verano seco (algo lógico pensando que dichas condiciones son las más críticas hablando de las condiciones más caloríficas en el ambiente).

La capacidad de esta unidad de expansión directa fue de 27.11 kW, lo cual debe convertirse en Toneladas de Refrigeración, unidad con la cual se comercializan los equipos de refrigeración, por lo que:

$$1\,kW \approx 3412\,\frac{BTU}{hr}$$

$$12{,}000\,\frac{BTU}{hr} \approx 1\,TonR$$

Entonces:

$$Capacidad = 27.11\ kW \cdot \left(\frac{3412.142\,\frac{BTU}{hr}}{1kW}\right) \cdot \left(\frac{1TON}{12000\,\frac{BTU}{hr}}\right) \qquad \textbf{E.75}$$

$$Capacidad = 7.7086\ TON \approx 8\ TON \qquad \textbf{E.76}$$

Comercialmente y tomando en cuenta las capacidades nominales disponibles en el mercado, consideré que la mejor opción era la elección de una Unidad de expansión directa de 10 Toneladas de refrigeración. Se eligió con base al catálogo de un proveedor y después se le contactó para solicitarle la cotización de dicho producto.

Figura 35: Especificaciones técnicas para el equipo de enfriamiento

CATEGORIA	REFRIGERANTE	MODELO	CAPACIDAD (TON)	VOLTAJE	EFICIENCIA	DESCRIPCION	MLP
DIVIDIDO COMERCIAL	R454B	KE090C00A2AAA1	7.5	220/3/60	16 IEER	SOLO FRÍO	**6,522**
DIVIDIDO COMERCIAL	R454B	KE090C00A4AAA1	7.5	440/3/60	16 IEER	SOLO FRÍO	**6,508**
DIVIDIDO COMERCIAL	R454B	KC120C00A2AAA1	10	220/3/60	15.5 IEER	SOLO FRÍO	**7,245**
DIVIDIDO COMERCIAL	R454B	KC120C00A4AAA1	10	440/3/60	15.5 IEER	SOLO FRÍO	**7,185**
DIVIDIDO COMERCIAL	R454B	KC150C00A2AAA1	12.5	220/3/60	15.6 IEER	SOLO FRÍO	**8,908**
DIVIDIDO COMERCIAL	R454B	KC150C00A4AAA1	12.5	440/3/60	15.6 IEER	SOLO FRÍO	**8,902**
DIVIDIDO COMERCIAL	R454B	KC180C00A2AAA1	15	220/3/60	14.4 IEER	SOLO FRÍO	**11,700**
DIVIDIDO COMERCIAL	R454B	KC180C00A4AAA1	15	440/3/60	14.4 IEER	SOLO FRÍO	**11,658**
DIVIDIDO COMERCIAL	R454B	KC240C00A2AAA1	20	220/3/60	14.8 IEER	SOLO FRÍO	**15,597**
DIVIDIDO COMERCIAL	R454B	KC240C00A4AAA1	20	440/3/60	14.8 IEER	SOLO FRÍO	**15,659**
DIVIDIDO COMERCIAL	R454B	KC300C00A2AAA1	25	220/3/60	13.6 IEER	SOLO FRÍO	**17,101**
DIVIDIDO COMERCIAL	R454B	KC300C00A4AAA1	25	440/3/60	13.6 IEER	SOLO FRÍO	**17,174**
DIVIDIDO COMERCIAL	R454B	WE090C00A2AAA1	7.5	220/3/60	16 IEER	BOMBA DE CALOR	**8,103**
DIVIDIDO COMERCIAL	R454B	WE090C00A4AAA1	7.5	440/3/60	16 IEER	BOMBA DE CALOR	**8,059**
DIVIDIDO COMERCIAL	R454B	WC120C00A2AAA1	10	220/3/60	16 IEER	BOMBA DE CALOR	**9,544**
DIVIDIDO COMERCIAL	R454B	WC120C00A4AAA1	10	440/3/60	16 IEER	BOMBA DE CALOR	**9,735**
DIVIDIDO COMERCIAL	R454B	WC180C00A2AAA1	15	220/3/60	14.6 IEER	BOMBA DE CALOR	**13,993**
DIVIDIDO COMERCIAL	R454B	WC180C00A4AAA1	15	440/3/60	14.6 IEER	BOMBA DE CALOR	**14,045**

Figura 36: Especificaciones técnicas para el equipo de enfriamiento

6.2.5.2 Equipo de suministro de calefacción

El procedimiento para la calefacción sigue una metodología prácticamente igual que el equipo de enfriamiento. Existen diversas alternativas para realizar el calentamiento del aire; en este proyecto determiné instalar un generador de agua caliente a gas L.P., junto con el suministro e instalación de la red de tuberías y accesorios necesarios para transportar el agua hacia el serpentín de calefacción de la unidad manejadora de aire, aspecto definido por el cliente como uno de sus requerimientos iniciales.

La selección del generador de agua caliente se basó en la capacidad de calefacción más crítica identificada en la carta psicrométrica, correspondiente a condiciones de verano húmedo. Se solicitó al proveedor un equipo con capacidad de 17.1281 kW, valor máximo obtenido del análisis, y la propuesta fue aceptada para su inclusión en la oferta.

CATALOGO	KCALS/HR.	BTU/HR.	LTS./HR. ΔT 40°C
520-150	150,000	600,000	3,750

CAPACIDAD EFECTIVA A 2,200 MTS. *SOBRE* EL NIVEL DEL MAR.

CATALOGO	KCALS/HR.	BTU/HR.	LTS./HR. ΔT 40°C
520-150	212,266	849,065	5,307

CAPACIDAD EFECTIVA AL NIVEL DEL MAR

DIMENSIONES DEL GENERADOR DE AGUA CALIENTE EN MM

Diámetro 900 mm.
Altura 1,900 mm.
Chimenea 340 mm.
Toma de agua 38 mm.
Peso aprox. 1,050 Kg.

Requerimientos eléctricos:

Voltaje (V)	Corriente (A)
220 2 Fases 1 Tierra física 60 Hz.	3 amp.

		CONSUMO DE GAS L.P.		CONSUMO DE GAS NATURAL
MODELO	M3/HR	KG/HR	LTS/HR	M3/HR
520150	6.45	13.14	23.45	13.33

Figura 37: Especificaciones técnicas para el equipo de calefacción

6.2.5.3 Selección de equipo humidificador

Posterior a la selección de los equipos anteriores, el siguiente elemento en el proceso de acondicionamiento fue el encargado de proporcionar la humidificación requerida durante la temporada de invierno, con el fin de establecer las condiciones óptimas de operación.

Existen diferentes tipos de humidificadores cuya viabilidad depende de los servicios disponibles en la instalación o los que se tengan previstos a implementar. Para este caso seleccioné un humidificador eléctrico de vapor, alimentado con agua potable, en el cual resistencias eléctricas elevan la temperatura del agua hasta convertirla en vapor. Dicho vapor es posteriormente distribuido mediante un panel de dispersión integrado al sistema de ductos.

La selección de este equipo se realizó solicitando al proveedor una cotización con base en el flujo másico obtenido en la carta psicrométrica para el proceso de humidificación. Adicionalmente, se especificaron las siguientes características técnicas:

- Flujo: 6,940 m³/h
- Capacidad de vapor: 11.24 kg/h
- Dimensiones de ducto: 680 mm (ancho) × 1,200 mm (alto) × 400 mm (profundidad)
- Humidificador eléctrico de vapor.
- Circuito eléctrico de control proporcional para recibir señal de control de 4–20 mA o 0–10 VCD.
- Detector de humedad en un rango de 5 a 95 % H.R.
- Interruptores de seguridad por falta de flujo de aire y por exceso de humedad.
- Reloj programable para el ciclo de purga.
- Tubos de dispersión de vapor fabricados en acero inoxidable.

Este equipo fue considerado adecuado para las condiciones de operación requeridas y se incluyó en la propuesta final.

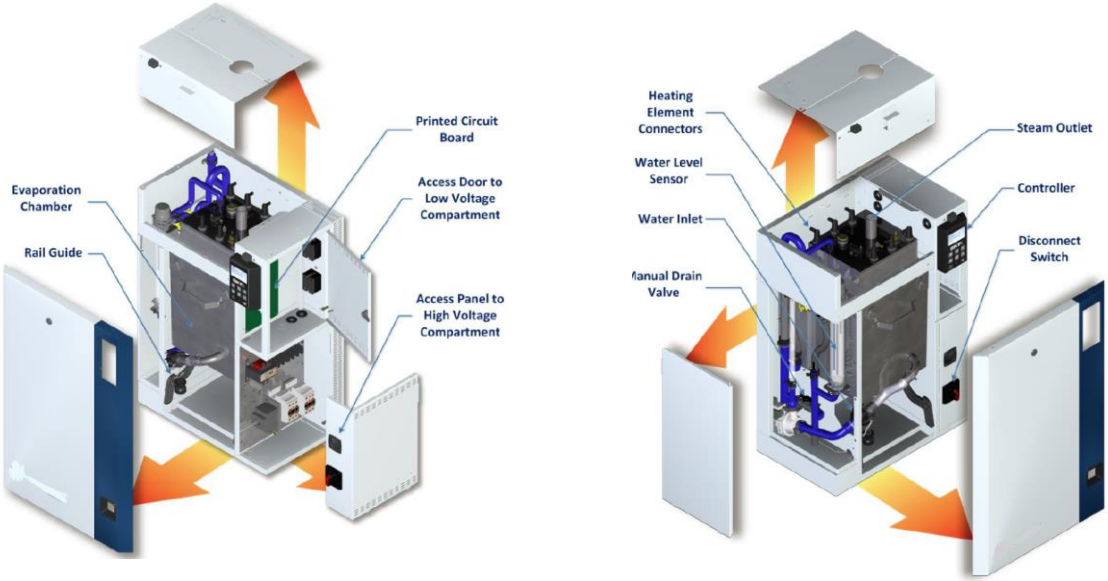
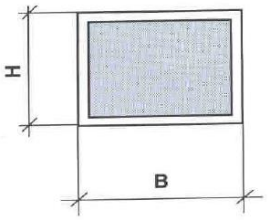


Figura 38: Explosivo de los componentes del equipo para humidificar

6.2.5.4 Selección de la Unidad Manejadora de Aire y Ventilador de Extracción

Para conseguir una selección adecuada del modelo de una UMA fue necesario recurrir al catálogo de Luwa (actualmente Eolis), ya que la empresa misma cuenta con una planta de producción dedicada a fabricar las unidades manejadoras, serpentines de expansión directa, de agua helada, de agua caliente, resistencias eléctricas, entre otros equipos.

Un método correcto para saber qué modelo es el más adecuado para el acondicionamiento del sistema es el de comparar el flujo total de inyección (Aire de Suministro) con el flujo volumétrico de aire que puede pasar, como máximo, por un filtro.



MODELO DE UNIDAD	VOLUMEN NOMINAL M3 / H	DIMENSIONES H MM	DIMENSIONES B MM	ARREGLO	FEL/NG TAMANO DE FILTRO 1/1	FEL/NG TAMANO DE FILTRO 1/2	FEL(GS) L1(MM)	FEL(GS) Kg
LWP-2.1	2125	608	988		0	1	500	66
LWP-4.2	4250	988	988		1	0	500	81
LWP-6.3	6375	988	1216		1	1	500	93
LWP-8.5	8500	988	1520		2	0	500	105
LWP-13	12750	1216	1520		2	2	500	120
LWP-17	17000	1520	1520		4	0	500	139
LWP-21	21250	1520	1824		4	2	510	167
LWP-25	25500	1520	2128		6	0	510	181
LWP-32	31875	1824	2128		6	3	510	204
LWP-38	38250	2128	2128		9	0	510	220
LWP-45	44625	2128	2432		9	3	510	244
LWP-51	51000	2128	2736		12	0	510	260
LWP-59	59500	2432	2736		12	4	510	287
LWP-68	68000	2736	2736		16	0	510	305

En la sección FEL tenemos dos variantes para cambiar los filtros
-por el lado limpio
-por el lado sucio

1/1 tamaño de filtro 610 x 610 mm.
1/2 tamaño de filtro 305 x 610 mm.

Figura 39: Especificaciones de cada modelo de unidad manejadora de aire (Luwa, 2000)

El flujo volumétrico máximo permitido por cada filtro es de 3,400 m³/h. Para determinar el modelo adecuado de la unidad manejadora de aire, se dividió el caudal de aire de suministro entre dicho valor, con el fin de obtener el número y tamaño de filtros requeridos.

En este caso, el suministro fue de 6,940 m³/h, que al dividirse entre 3,400 m³/h resultó en 2.04 filtros. Al no tratarse de un valor entero, sería necesario un arreglo equivalente a 2.5 filtros, ya que el catálogo sólo contempla combinaciones con filtros enteros o medios filtros; sin embargo, este no contempla dicha configuración. El modelo inmediato que disponible fue el LWP-13, el cual incorpora dos filtros enteros y dos medios filtros.

No obstante, con el objetivo de optimizar costos, se consideró la posibilidad de emplear el modelo LWP-8.5, el cual incorpora dos filtros enteros, equivalentes a 6,800 m³/h. Aunque este valor no cubre completamente el flujo requerido, es posible aplicar una consideración de tomar como tolerancia del 10 % para obtener una capacidad efectiva de 7,480 m³/h,

suficiente para atender el aire de suministro dado. Por lo tanto, el modelo LWP-8.5 se consideró técnicamente viable y económicamente más conveniente.

Cabe señalar que el catálogo consultado corresponde a los modelos LWP, que actualmente son considerados obsoletos debido al cambio de razón social de la empresa. No obstante, las características y especificaciones técnicas se mantienen equivalentes, por lo que el modelo LWP-8.5 debe sustituirse por su versión vigente, el EOS-8.5.

En el sistema fueron definidos dos cuartos sin retorno hacia el suministro, entonces resultó necesario instalar un equipo que contribuyera al desalojo a ambiente el flujo de aire no deseado, garantizando siempre condiciones seguras y evitando cualquier riesgo de contaminación ambiental.

De acuerdo con la normativa, en procesos productivos, de almacenamiento o en general en aquellos que puedan generar contaminantes, la extracción debe acondicionarse antes de su descarga mediante una Unidad de Extracción (UEXT). Sin embargo, en este proyecto no consideré necesaria dicha unidad, dado que el aire a extraer proviene de habitaciones sin procesos que involucren contaminantes (cuarto de lavado y esclusa de personal).

Por lo tanto, la implementación de una UEXT representaría un incremento innecesario en la propuesta económica, además de hacer un uso de espacio no necesario y una operación fuera de sus condiciones ideales. Como propuesta opté por el suministro e instalación de un ventilador de extracción, dimensionado para operar con un flujo de 930 m^3/h y una caída de presión asociada.

6.2.6 Configuración de la UMA y el VEXT

La correcta configuración de la unidad manejadora de aire depende de diversos factores, pero el primero y más importante es cumplir con lo establecido en la normativa respecto al tipo de filtración requerida según el tamaño de partículas a retener. Para ello, utilicé la clasificación de filtros definida en las normas EN779, EN1822 y SWKI 96-4, que establecen los rangos de eficiencia y pérdida de carga aceptables para cada tipo de filtro.

Cada categoría de filtración cuenta con una designación específica y su correspondiente equivalencia con la clasificación ASHRAE/MERV, esto me permitió seleccionar el nivel adecuado de filtración y asegurar que los equipos instalados cumplieran con los estándares internacionales para el diseño de unidades manejadoras de aire.

La mayoría de las otras secciones que conforman la unidad manejadora se ven presentes en casi todos los procesos y tipos de clasificación, algunas de ellas dependen más de los servicios con los que ya dispone el cliente o bien, que desee implementar para el acondicionamiento de su proceso.

En cualquier proyecto es fundamental definir, en conjunto con el cliente, el espacio destinado para la instalación de los equipos HVAC, conocido como área técnica. Esta etapa permite prever las dimensiones disponibles y establecer criterios para optimizar la distribución del espacio. Con esta estrategia es posible identificar con claridad las zonas destinadas a ubicar los equipos de mayor tamaño y coordinar con el cliente posibles ajustes en la obra civil en caso de limitaciones físicas.

Para este proyecto y considerando las dimensiones disponibles del espacio designado como área técnica, propuse el suministro e instalación de la unidad manejadora en dos niveles. Esta configuración permitió reducir la superficie ocupada por la base de la manejadora, evitando el típico arreglo lineal y facilitando que el equipo pudiera ser instalado en el área destinada sin inconvenientes.

Comenzando con el nivel superior, la primera sección está enfocada en la succión del aire exterior, así como también recibir el aire de retorno del sistema (recordando que es un proceso con casi 80% de aire de retorno) por lo que la sección adecuada sería una KEM, conformada con una doble compuerta tamaño estándar, permitiendo el acceso del aire exterior y el aire de retorno.

Posteriormente en el mismo nivel, para la primera etapa de filtración, se seleccionó un tren de filtración compuesto por un prefiltro tipo PAD/FEL M5 en la primera etapa, complementado por un filtro F9 en segunda etapa. Esta configuración aseguró una retención progresiva de partículas: el filtro M5 captura polvo grueso y fibras, mientras que el F9 garantiza una eficiencia superior frente a partículas finas, cumpliendo con los requisitos de calidad de aire establecidos para ambientes ISO-8 sin incurrir en sobrecostos ni equipos que excedan las necesidades del proceso.

La siguiente sección está asociada a los serpentines de enfriamiento (en este caso, de expansión directa) y calefacción, identificados como LKE y LEE, respectivamente. Después, se indica generalmente el panel de dispersión de vapor, designado como DB, lo cual es completamente representativo, ya que dichos tubos de dispersión de vapor se instalarán en la ductería.

La última etapa del nivel superior se vinculó el ZWE I, un espacio diseñado con el objetivo de mejorar el acceso a las diferentes secciones de la UMA, facilitando así las labores de mantenimiento de cualquiera de sus secciones.

Posteriormente para el nivel inferior, empezando por debajo del primer ZWE, se colocó otra sección de ZWE II, algo que al igual a la etapa anterior, tiene por objetivo facilitar el acceso a la unidad manejadora, pero en el nivel inferior, una acción necesaria tomando en cuenta que posteriormente se ubicará el ventilador designado a dar dinámica al aire una vez haya pasado por la sección de enfriamiento, calefacción y humidificación.

Después de colocar otra zona de acceso la siguiente etapa conveniente fue integrar la sección VEI, correspondiente al ventilador encargado de impulsar el aire previamente acondicionado y filtrado en una primera etapa, dirigiéndolo hacia la segunda etapa de filtración.

La clasificación del área asociada a Clase D, según las GMP, equivalente a ISO Clase 8 conforme a la norma ISO 14644-1. En este nivel de clasificación no es estrictamente obligatorio emplear filtros HEPA, entendiendo que las concentraciones de partículas permitidas son relativamente altas. No obstante, para este sistema propuse la incorporación de un filtro HEPA H14 (NG) como segunda etapa de filtración, con una eficiencia de 99.9997 % en retención de partículas, con el fin de minimizar al máximo la transferencia de contaminantes y garantizar un aire con calidad superior para el acondicionamiento del sistema (cabe señalar que la clasificación de filtros aplicada responde a la normativa ISO 16890, que establece los criterios de eficiencia para la retención de partículas en sistemas de ventilación y climatización).

La última sección obedeció al suministro del aire acondicionado. En este caso no fue necesario implementar una doble salida como en la etapa inicial y bastó con colocar una KEA, referente a una sola compuerta, completando así la parte inferior y la configuración general de la unidad manejadora de aire.

Por otro lado, el sistema de extracción se planteó con un arreglo sencillo. Tal como se ha señalado anteriormente, al no ser necesaria la instalación de una unidad de extracción completa se puede prescindir de filtros y secciones adicionales. En su lugar, se integró únicamente un ventilador de extracción, acompañado de una compuerta AEXT y una rejilla con control de volumen, suficientes para garantizar el desalojo del aire conforme a los requerimientos del proyecto.

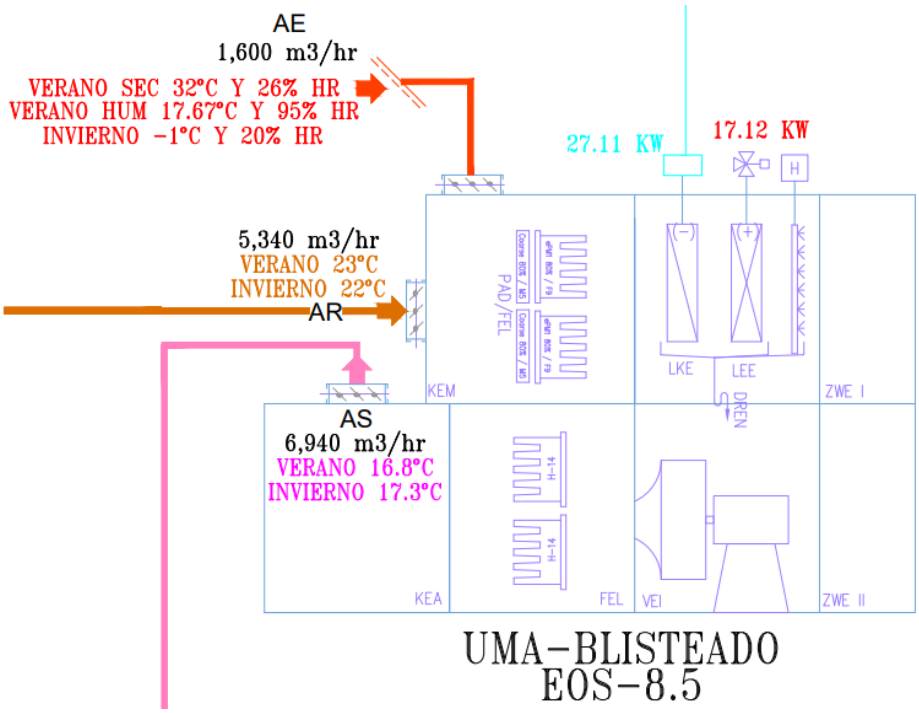
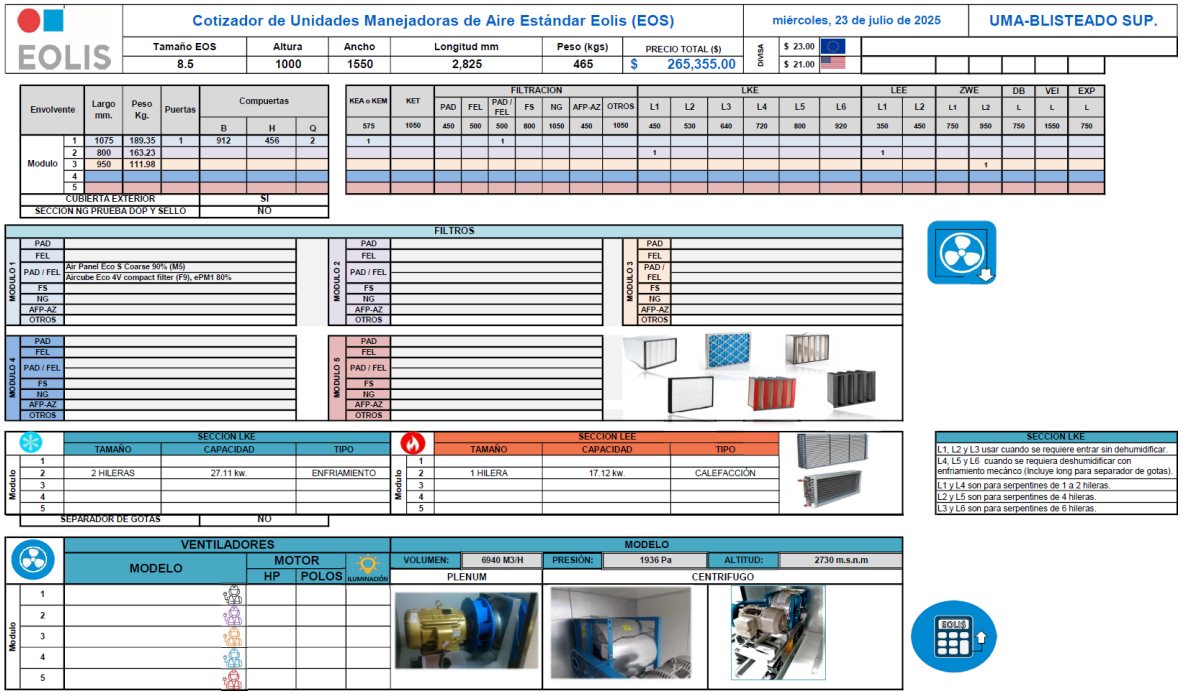


Figura 40: Diagrama unifilar del arreglo de la unidad manejadora de aire



EOLIS — Cotizador de Unidades Manejadoras de Aire Estándar Eolis (EOS) — miércoles, 23 de julio de 2025 — UMA-BLISTEADO SUP.

Tamaño EOS	Altura	Ancho	Longitud mm	Peso (kgs)	PRECIO TOTAL ($)	DIVISA
8.5	1000	1550	2,825	465	$ 265,355.00	$ 23.00 / $ 21.00

Envolvente		Largo mm.	Peso Kg.	Puertas	Compuertas B	Compuertas H	Compuertas Q
Modulo	1	1075	189.35	1	912	456	2
	2	800	163.23				
	3	950	111.98				
	4						
	5						
CUBIERTA EXTERIOR					SI		
SECCION NG PRUEBA DOP Y SELLO					NO		

KEA o KEM	KET	FILTRACION PAD	FEL	PAD / FEL	FS	NG	AFP-AZ	OTROS	LKE L1	L2	L3	L4	L5	L6	LEE L1	L2	ZWE L1	L2	DB L	VEI L	EXP L
575	1050	450	500	500	800	1050	450	1050	450	530	640	720	800	920	350	450	750	950	750	1550	750
1				1																	
									1						1						
																		1			

FILTROS

MODULO 1	PAD	
	FEL	
	PAD / FEL	Air Panel Eco S Coarse 90% (M5) / Aircube Eco 4V compact filter (F9), ePM1 80%
	FS	
	NG	
	AFP-AZ	
	OTROS	
MODULO 2	PAD	
	FEL	
	PAD / FEL	
	FS	
	NG	
	AFP-AZ	
	OTROS	
MODULO 3	PAD	
	FEL	
	PAD / FEL	
	FS	
	NG	
	AFP-AZ	
	OTROS	
MODULO 4	PAD	
	FEL	
	PAD / FEL	
	FS	
	NG	
	AFP-AZ	
	OTROS	
MODULO 5	PAD	
	FEL	
	PAD / FEL	
	FS	
	NG	
	AFP-AZ	
	OTROS	

SECCION LKE		TAMAÑO	CAPACIDAD	TIPO
Modulo	1			
	2	2 HILERAS	27.11 kw.	ENFRIAMIENTO
	3			
	4			
	5			
SEPARADOR DE GOTAS			NO	

SECCION LEE		TAMAÑO	CAPACIDAD	TIPO
Modulo	1			
	2	1 HILERA	17.12 kw.	CALEFACCIÓN
	3			
	4			
	5			

SECCION LKE
L1, L2 y L3 usar cuando se requiere entrar sin dehumidificar.
L4, L5 y L6 cuando se requiera deshumidificar con enfriamiento mecánco (Incluye long para separador de gotas).
L1 y L4 son para serpentines de 1 a 2 hileras.
L2 y L5 son para serpentines de 4 hileras.
L3 y L6 son para serpentines de 6 hileras.

VENTILADORES	MODELO	MOTOR HP	MOTOR POLOS	ILUMINACIÓN
Modulo 1				
2				
3				
4				
5				

MODELO					
VOLUMEN:	6940 M3/H	PRESIÓN:	1936 Pa	ALTITUD:	2730 m.s.n.m
PLENUM		CENTRIFUGO			

Figura 41: Componentes de la unidad manejadora de aire (nivel superior)

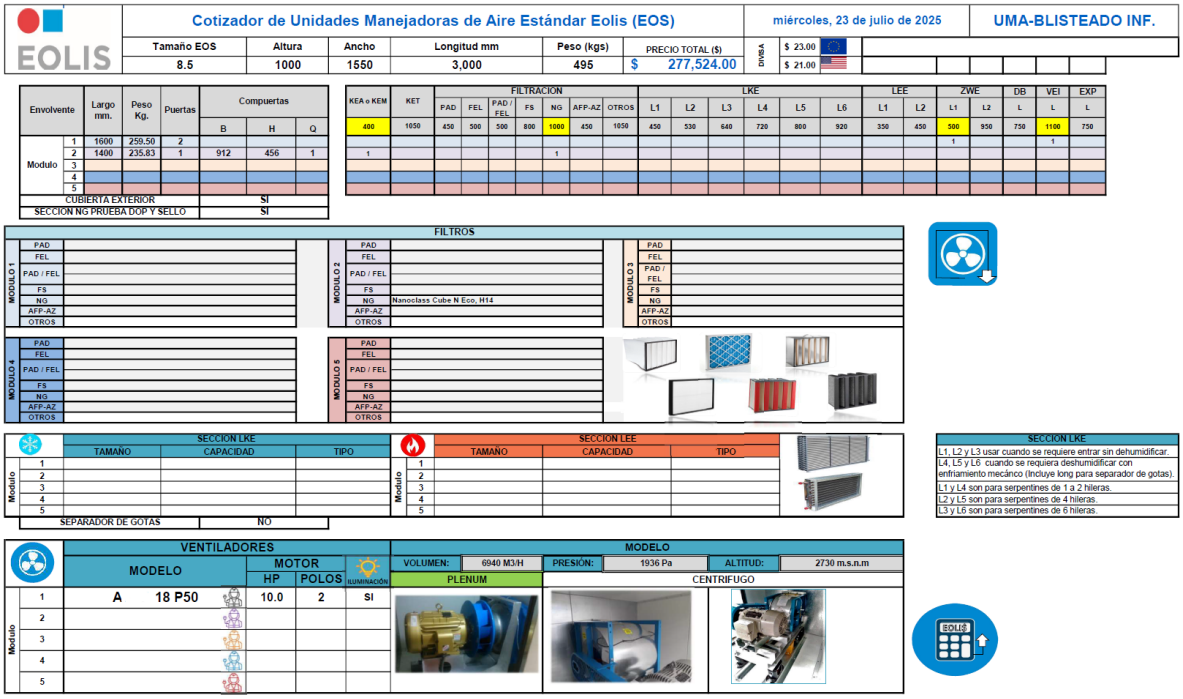


Figura 42: Componentes de la unidad manejadora de aire (nivel inferior)

6.2.6.1 Elaboración del documento *Cálculo de caída de presión*

Una vez definido el modelo de la unidad manejadora de aire y el sistema de extracción correspondiente, el siguiente paso fue elaborar el documento de *cálculo de caída de presión.* Para este paso se empleó una hoja de cálculo previamente formulada, destinada a determinar la caída de presión total que deberán vencer los ventiladores, considerando tanto el tipo de equipo (suministro, extracción, colector de polvos, entre otros) como las ganancias que aportan cada sección que componen las unidades. Con base en este resultado, y tomando en cuenta la potencia del motor arrojada por la hoja de cálculo, junto con las condiciones ambientales de operación, se procedió a seleccionar el modelo de ventilador más adecuado para su implementación en el sistema.

EOLIS

CÁLCULO DE CAÍDA DE PRESIÓN

Cliente :	Empresa de empaque farmacéutico	Página :	1/1
Obra :	HVAC	Elaboró :	SMA
Ubicación :	Cd. de México, CDMX	Fecha :	17/07/2025
Área :	Blisteado	Altitud [MSNM] :	2,730
Proyecto :	P25FARMA3717	P. Barométrica [Bar] :	0.725
		P. Barométrica [mm Hg] :	544

UMA-BLISTEADO

Volumen de Aire

6,940 [m^3/h]

SECCIONES UMA		CANT	[Pa]	[Pa] Total
KEM	Compuertas tamaño estandar **AR**	1	30	30
DB	Panel de dispersión de vapor	1	30	30
LKE	Enfriamiento	1	80	80
LEE	Calefacción	1	40	40
KEA	Compuerta **AS**	1	30	30
			SUB-TOTAL =	**210**

SECCIÓN	FILTRACIÓN DE ACUERDO A NORMA ISO 16890:	CANT	[Pa]	[Pa] Total
PAD/FEL	Coarse 80% (**M5** F. Plano 40-60% EN779) / ePM1 80% (**F9** F. Cartucho >95% EN779)	1	450	450
NG	**H14** (**H14** F. Cartucho 99.9997% EUROVENT 4/4)	1	450	450
			SUB-TOTAL =	**900**

ACCESORIOS:		CANT	[Pa]	[Pa] Total
AE	Malla antipajaros toma **AE**	1	30	30
AS	Control de volumen difusor **AS**	1	30	30
AS	Difusor perforado **AS**	1	50	50
AS	Difusor **AS**	1	30	30
AR	Compuerta en ducto **AR**	1	30	30
AR	Control de volumen rejilla **AR**	1	30	30
AR	Rejilla perforada **AR**	1	50	50
			SUB-TOTAL =	**250**

DUCTERÍA :		[Pa] Total
	Ductos **AS**	200
	Ductos **AR**	200
	SUB-TOTAL	**400**

SUB-TOTAL CAÍDA DE PRESIÓN [Pa]	**1760**
FACTOR DE SEGURIDAD [10%]	**1.10**
TOTAL CAÍDA DE PRESIÓN DE OPERACIÓN [Pa]	**1936**
Volumen de aire [m^3/h]= 6,940	**7.15 [hp] Teórico**

Motor= 7.5 [hp]

Figura 43: Hoja de cálculo para determinar la caída de presión en el sistema

Adicionalmente a las secciones con las que se configuró la UMA, se emplearon otros accesorios que, si bien no influirán en el proceso de acondicionamiento, son esenciales para preservar íntegramente el sistema y algunos otros tienen presencia en la distribución del aire. Todos estos elementos también cuentan con un valor de caída de presión, que terminan aportando al sistema y por consecuencia la potencia total del ventilador se va incrementando.

Para el cálculo de la caída de presión en el sistema de ductos, y conforme a una consideración interna de diseño, se estableció un valor de 150 Pa tanto para suministro como para retorno (cuando el sistema cuenta con este último, como en este caso en particular). No obstante, para este proyecto se configuró un valor de 200 Pa en cada uno, con el propósito de incluir un margen de seguridad y evitar trabajar con valores demasiado ajustados.

La caída de presión resultante en la unidad manejadora de aire fue de 1,936 Pa, concluyendo que la potencia real del motor del ventilador fue alrededor de 7.5 HP, una capacidad disponible en el mercado.

Para este equipo se seleccionó un ventilador de motor acoplado directamente a turbina tipo plenum ya que este tipo de ventilador es el más adecuado para sistemas que requieren vencer presiones relativamente altas sin comprometer la estabilidad del flujo. Además, ofrece un mejor control del caudal, mayor eficiencia en comparación con ventiladores axiales para este rango de presión, asegurando una operación más silenciosa y confiable dentro de la unidad manejadora de aire.

Adicionalmente es posible comparar la potencia obtenida a partir del cálculo de caída de presión, con la potencia del ventilador obtenida con base en los resultados de un software especializado en el cálculo y selección de ventiladores. Este software está diseñado a partir de los modelos de una marca comercial de origen estadounidense dedicada a fabricar dichos ventiladores. Un valor agregado de este software es que muestra resultados considerando las condiciones ambientales del lugar de instalación del ventilador, la altitud sobre el nivel del mar, la temperatura y la densidad del aire, lo que permitió obtener resultados más precisos y efectivos.

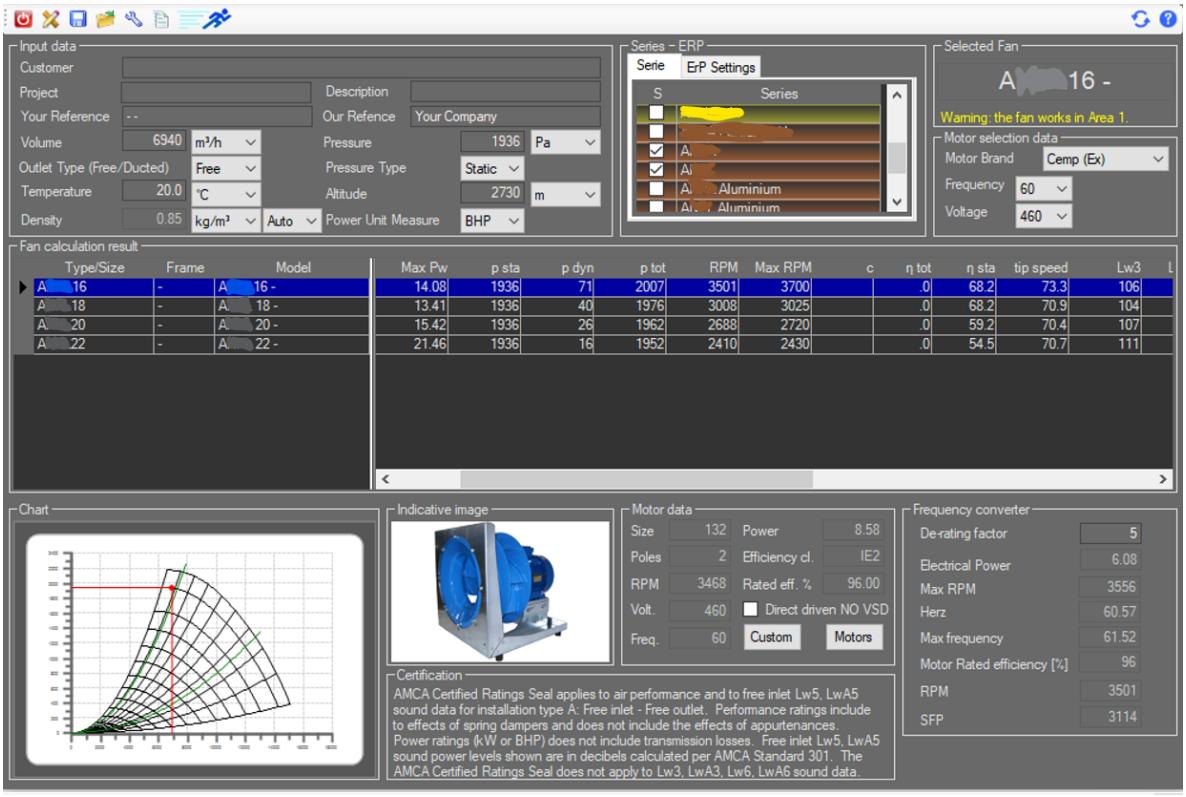
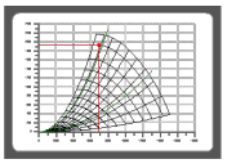


Figura 44: Selección de ventilador hecha por un software especializado

Input data					
Volume	6940 m³/h	**Temperature**	20.0 °C	**Density**	0.85 kg/m³
Static Pressure	1936 Pa	**Altitude**	2730 m	**Free Inlet - Free Outlet**	

	Catalogue data		
Selected Fan A 16 -	n Max 1/min	Pw Max BHP	J kg m²
	3700		0.42



Fan Information											
c m/s	p tot * Pa	p sta Pa	p dyn ** Pa	tip speed m/s	RPM 1/min	eta Tot * %	eta Sta %	P fan BHP	Min Mot. BHP	P mot BHP	Shaft diameter mm
	2007	1936	71	73.3	3501	70.69	68.18	7.34			0

(*)Theoric value calculated taking into account the dynamic pressure at the impeller outlet
(**)Theoric value, calculated at the impeller outlet

fm[Hz]	**63**	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	**Tot.**	
Lw3 Total Sound Power Level in the inlet duct- Lwi Inlet Duct Sound Power Level includes the effect of duct end correction										
Level Lw3	103	101	95	95	86	83	77	75	**106**	**dB**
Level Lw3 (filter A)	76	85	86	91	86	84	78	74	**95**	**dB(A)**
Lw5 Inlet Total Sound Power Level - Lwmi Inlet Sound Power Level (free inlet) do not includes the effect of duct end correction										
Level Lw5	87	84	86	93	86	86	86	85	**97**	**dB**
Level Lw5 (filter A)	61	68	78	90	86	88	87	84	**94**	**dB(A)**
Lw6 Total Sound Power Level at the free outlet - Lwmo Outlet Sound Power Level (free outlet) do not includes the effect of duct end correction										
Level Lw6	102	96	95	98	92	89	84	81	**105**	**dB**
Level Lw6 (filter A)	76	80	86	95	92	90	85	80	**98**	**dB(A)**

Motor Selected (nominal values)												
Manufacturer	Type	Size	Poles	RPM	Power kW	Voltage V	Frequency Hz	Rated efficiency %	Shaft diameter mm	Efficiency class	Rated current A	Motor weight Kg
Cemp (Ex)	EE	132SA	2	3468	6.40	460	60	96.0	38	IE2	409	1900.0

Operating data with the frequency converter						
Frequency Hz	RPM	De-rating Factor (DRF)	P mot DRF BHP	Max Frequency Hz	Max RPM 1/min	Max P mot DRF BHP
60.57	3501	5	8.15	61.52	3556	8.15

Electrical power BHP	SFP W/(m³/s)
8.05	3114

Performances				
Fan RPM 1/min	Volume m³/h	Fan Static Pa	Fan Total Pa	Fan power BHP
3501	6940	1936	2007	7.34

Figura 45: Especificaciones técnicas del ventilador arrojado por el software

Como se puede observar, la potencia del motor del ventilador seleccionado es de 6.4 kW, equivalentes a 8.58 HP. Al compararlo con el valor obtenido en la hoja de cálculo, se aprecia que es aproximadamente 1 HP mayor, lo cual garantiza un margen de seguridad adecuado. Por lo tanto, se concluye que este motor no solo cubrió completamente la potencia requerida para mover el caudal de aire de suministro, sino que también asegura la capacidad de vencer la caída de presión del sistema, evitando posibles deficiencias en la operación y asegurando un desempeño confiable del equipo.

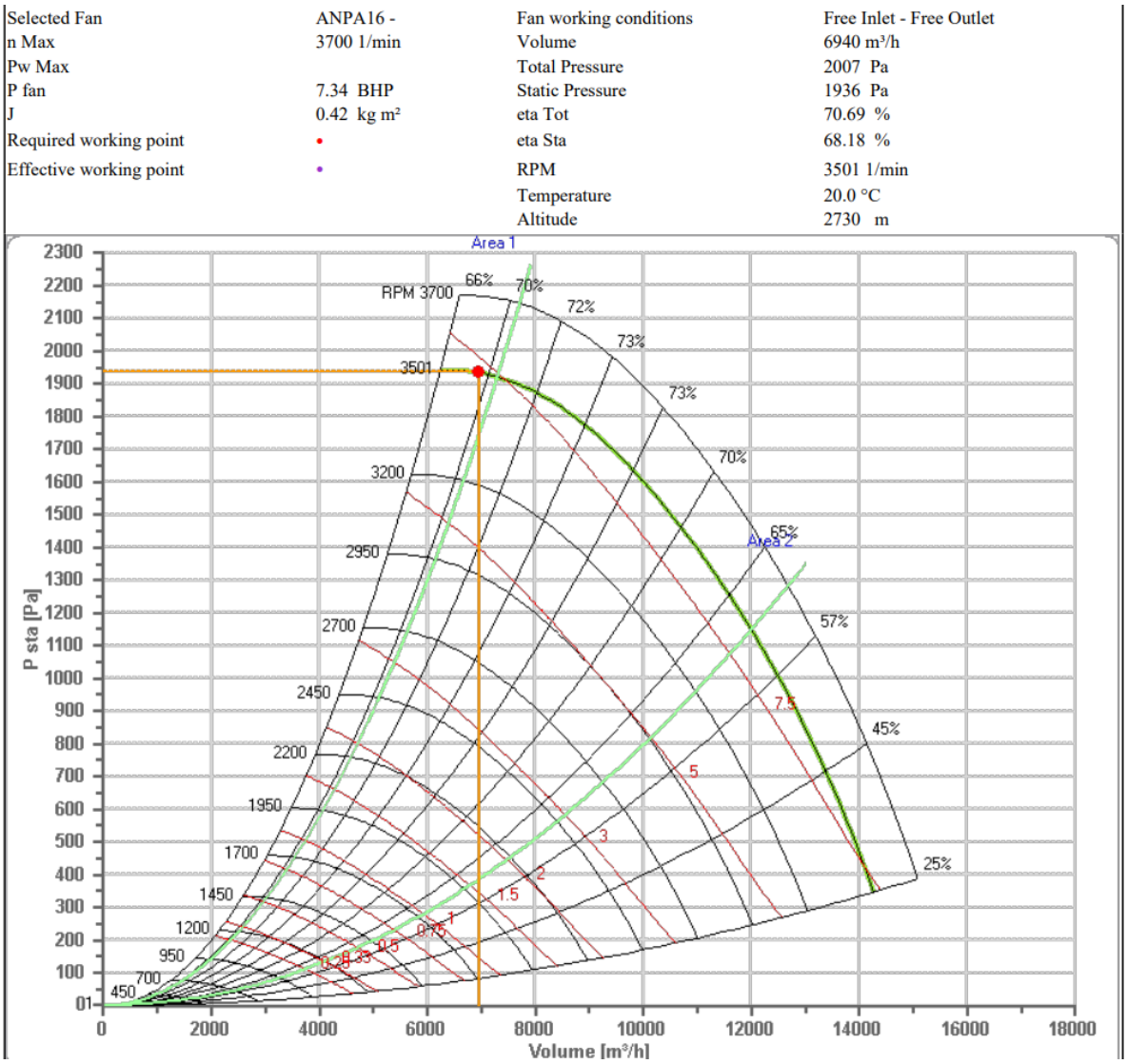


Figura 46: Gráfica Presión estática vs flujo volumétrico del ventilador arrojado

En esta gráfica de Presión estática vs. Flujo volumétrico, arrojada por el software, es posible observar que el punto de operación del sistema se encuentra fuera del rango óptimo de operación del ventilador, ya que se ubica en una zona con una eficiencia total de aproximadamente 70.69 % y la eficiencia estática de 68.18 %, valores menores a los máximos que podría alcanzar el equipo. Esto implica que, aunque el ventilador cumple con el caudal de 6,940 m³/h y la presión estática requerida de 1,936 Pa, lo hace trabajando en una región menos eficiente de la curva.

Operar en esta zona no impide el funcionamiento, pero sí puede derivar en un mayor consumo energético y en un desgaste más acelerado de los componentes. Sin embargo, cuando llevé a cabo la comparación con los otros modelos de ventiladores sugeridos por el software. observé que tenían una eficiencia menor y un punto de operación más alejado del rango óptimo, por lo que tomé la decisión de descartarlos y seleccionar el modelo propuesto.

De igual manera es posible estimar bajo sustento teórico la potencia del motor del ventilador, partiendo de la relación entre el caudal de aire, la caída de presión y la eficiencia del equipo. En este cálculo, la caída de presión considerada correspondió, tanto a las pérdidas indicadas por los fabricantes de cada sección de la unidad manejadora, como a la caída aproximada del sistema de ductería. Si bien se trata de un valor estimado, su propósito es proporcionar una evidencia al resultado obtenido en la hoja de cálculo y posteriormente validarlo mediante el software de selección, acción que garantiza la coherencia entre el análisis preliminar y la selección final del ventilador.

Este análisis parte del principio fundamental en que un ventilador realiza trabajo al mover un volumen de aire contra una resistencia, expresada como la caída de presión del sistema. De esta manera, la potencia teórica puede calcularse como el producto entre el caudal de aire y la caída de presión total, corregido por la eficiencia del ventilador.

Para efectos prácticos, el caudal de aire se expresa en metros cúbicos por segundo y la caída de presión en pascales, entregando como resultado una potencia en watts. Posteriormente, esta se convirtió a kilowatts y finalmente a caballos de fuerza (HP), con el fin de obtener un valor comparable con las potencias nominales disponibles en el mercado para motores eléctricos. Con estas consideraciones, la potencia del ventilador puede expresarse de la siguiente manera:

$$W[HP] = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta} \cdot 1000 \cdot 0.7457 \qquad \textbf{E.77}$$

donde:

Q	$\frac{m^3}{s}$	Caudal de aire
ΔP	Pa	Caída de presión
η	0.7	Eficiencia del ventilador

De esta manera:

$$W[HP] = \frac{\left(\frac{6940\,\frac{m^3}{h}}{3600} \cdot 1936\,Pa\right)}{0.7 \cdot 1000 \cdot 0.7457} \qquad \textbf{E.78}$$

$$W = 7.1499\ [HP] \qquad \textbf{E.79}$$

Dicho valor resultó estar muy próximo al valor real arrojado por la hoja de cálculo, estando definida bajo el mismo principio.

Para el caso del ventilador de extracción, también cuenta con algunos accesorios adicionales con el fin de mantener su operación en óptimas condiciones, que también aportan caída de presión al sistema. A su vez, para este caso se estimaron 100 Pa de caída de presión en el sistema de ductos, dado que la extracción de aire se realiza únicamente desde dos habitaciones, implicando un recorrido relativamente corto para el aire antes de expulsarlo del sistema.

EOLIS

CÁLCULO DE CAÍDA DE PRESIÓN

Cliente :	**Empresa de empaque farmacéutico**	Página :	**1/1**
Obra :	**HVAC**	Elaboró :	**SMA**
Ubicación :	**Cd. de México, CDMX**	Fecha :	**17/07/2025**
Área :	**Blisteado**	Altitud [MSNM] :	**2,730**
Proyecto :	**P25FARMA3717**	P. Barométrica [Bar] :	**0.725**
		P. Barométrica [mm Hg] :	**544**

VEXT-XX

Volumen de Aire

930 [m^3/h]

ACCESORIOS:		CANT	[Pa]	[Pa] Total
AEXT	Compuerta **AEXT**	1	30	30
AEXT	Control de volumen rejilla **AEXT**	1	30	30
AEXT	Rejilla **AETX**	1	30	30
AEXT	Rejilla perforada **AETX**		50	
AEXT	Compuerta ventilador **AEXT**		30	
AEXT	Cuello de lona **AEXT**		30	
AEXP	Cuello de lona **AEXP**	1	30	30
AEXP	Malla antipájaros **AEXP**	1	30	30
AEXP	Louver		50	
			SUB-TOTAL =	**150**

DUCTERÍA :	[Pa] Total
Ductería **AEXT**	100
SUB-TOTAL	**100**

SUB-TOTAL CAÍDA DE PRESIÓN [Pa]	**250**
FACTOR DE SEGURIDAD [10%]	**1.10**
TOTAL CAÍDA DE PRESIÓN DE OPERACIÓN [Pa]	**275**

Volumen de aire [m^3/h]= 930	**0.14 [hp] Teórico**

Motor= 0.5 [hp]

Figura 47: Hoja de cálculo para determinar la caída de presión en el ventilador de extracción

En el caso del ventilador de extracción, se decidió solicitarlo directamente a un proveedor, ya que únicamente se contaba con un ventilador y algunos accesorios adicionales. Por este motivo, se consideró conveniente contactar a un fabricante de ventiladores centrífugos para obtener la cotización del suministro del equipo.

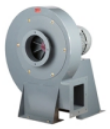
Este fue solicitado con los datos entregados por la hoja de cálculo tales como el flujo de extracción (en CFMs), la caída de presión total, la potencia del motor y el tipo de ventilador, el cual sería un centrífugo de álabes radiales para una operación en 220V/3F/60 Hz.

En función de los requerimientos de caudal y presión establecidos para el sistema de extracción entregados por la hoja de cálculo, el fabricante seleccionó un ventilador centrífugo de álabes radiales con motor acoplado directamente a la turbina. Esta elección ejemplificó que este tipo de ventilador es especialmente adecuado para aplicaciones de extracción, ya

que combina la capacidad de generar presiones estáticas elevadas con un diseño robusto que tolera la presencia de partículas en el flujo de aire, lo cual incrementa su confiabilidad en operación continua.

De acuerdo con las curvas de desempeño suministradas, el ventilador opera en un punto de 708 CFM y 451 Pa (a una densidad de 0.92 kg/m³), valores que superaron al punto de diseño requerido de 548 CFM y 270 Pa. Dicha condición garantiza que el equipo no solo cubra la demanda prevista, sino que también ofrezca un margen de seguridad operativo, indispensable para compensar variaciones en las condiciones reales del sistema, como pérdidas adicionales en ductos, filtros obstruidos parcial o totalmente, o fluctuaciones en la densidad del aire debido a la altitud o temperatura.

En el caso del motor, este está acoplado directamente al impulsor, lo que representa otra ventaja importante: se eliminarán pérdidas mecánicas asociadas a transmisiones por bandas, se reduce el mantenimiento requerido y se mejora la eficiencia global del sistema. La velocidad nominal del impulsor (3460 RPM) permite mantener un flujo estable y uniforme, condición clave para un sistema de extracción rentable.



Extractores Centrífugos de Alabes Radiales. Carcasa en acero electrosoldada, rotor de alabes rectos radiales fabricado en fundición de Al, acabado en pintura en polvo poliéster horneada color gris martillado con gran resistencia a la corrosión.
Motor acoplado directamente a la turbina.
Cámaras de pintura, secadores, manejo de humo, polvo, presurización en procesos industriales, etc.

Punto requerido

Caudal	548 cfm
Presión Estática	270 Pa
Temperatura	21 °C
Altitud	2240 m
Densidad	0,92 Kg / m³
Frecuencia	60 Hz

Punto de trabajo

Caudal	708 cfm
Presión estática	451 Pa @ 0,92 kg/m³
Presión dinámica	357 Pa @ 0,92 kg/m³
Presión total	808 Pa @ 0,92 kg/m³
Potencia motor	1
Tensión	220/440
Intensidad máxima (A)	3,0/1,5
Velocidad ventilador	3460 rpm

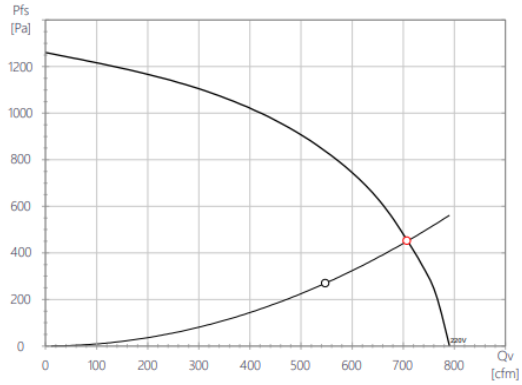
Construcción

Diámetro impulsión	124 mm
Peso	24,00 kg

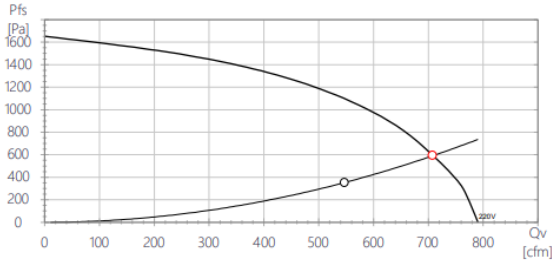
Características del motor

Índice de protección	IP23
Clase motor	B

Curva(s)



Curva(s) (1,204 Kg / m³)



Características acústicas

	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Descarga (LwA)	92	83	80	73	73	68	64	61	93
Descarga LpA @ 1m	87	78	75	68	68	63	59	56	88

Figura 48: Especificaciones técnicas del ventilador de extracción seleccionado

6.2.7 Elaboración del documento Requerimientos de los sistemas de usuario

Ya obtenidas las capacidades de los equipos y seleccionados los modelos a implementar en el sistema, el siguiente paso consistió en la elaboración del documento de requerimientos de los sistemas de usuario (URS). El llenado de este documento es fundamental, ya que en él se presentan, a modo de resumen, los equipos que deberán suministrarse respondiendo a las necesidades del cliente, garantizando que el sistema HVAC resulte confiable y cumpla con las normativas aplicables a la industria farmacéutica.

El procedimiento para el llenado se desarrolla de la siguiente forma:

6.2.7.1 Identificación del equipo

- En la columna “Tag” se asignó un nombre resumido al tipo de equipo de tratamiento de aire.
- En la columna “Equipo” se especificó el modelo propuesto.
- En este proyecto en particular, se consideró como equipos principales la UMA de la blisteadora y el ventilador de extracción.

EOLIS

Cliente : **Empresa de empaque farmacéu**
Área : **Blistedo**
Lugar : **Cd. de México, CDMX**

Tag	Equipo
UMA-BLISTEADO	Unidad Manejadora de Aire
VEXT-01	Ventilador de Extracción

Figura 49: Identificación de los sistemas

6.2.7.2 Servicio y ubicación

- Se indicó el tipo de servicio al que está destinado el equipo.
- Se registró la ubicación física del proyecto (lugar en el que será instalado).

Tag	Servicio	Ubicación
UMA-BLISTEADO	Blisteado	Cd. de México, CDMX
VEXT-01	Blisteado	Cd. de México, CDMX

Figura 50: Servicio y ubicación

6.2.7.3 Flujos de aire

Se especificó el flujo de aire que dispondrá cada equipo, diferenciando entre:

AS	Aire de suministro
AR	Aire de retorno
AE	Aire exterior
AEXT	Aire de extracción
CP	Colector de polvos

Para este caso, la UMA dispuso de flujos de suministro, retorno y exterior; mientras que el ventilador se encargó de operar con el flujo de extracción.

Tag	FLUJO DE AIRE				
	AS [m^3/h]	AR [m^3/h]	AE [m^3/h]	AEXT [m^3/h]	CP [m^3/h]
UMA-BLISTEADO	6,940	5,340	1,600		
VEXT-01				930	

Figura 51: Flujos de aire en cada sistema

6.2.7.4 Características técnicas del equipo

- Se registró la caída de presión efectiva (según el documento de cálculo de pérdidas), la marca y el modelo del equipo.
- Se incluyeron los datos eléctricos, como potencia del motor (en HP y kW), corriente y condiciones de operación.

Tag	Caída de presión (Efectiva) [Pa]	Marca	Modelo	Eléctricos			
				Motor [hp]	Potencia [kW]	Corriente [A]	V / F / Hz
UMA-BLISTEADO	1,936	EOLIS	EOS-8.5	8	5.63		230-460V./3F./60Hz.
VEXT-01	275	OTRO		0.5	0.375		230-460V./3F./60Hz.

Figura 52: Características técnicas de los sistemas

6.2.7.5 Procesos de acondicionamiento de aire

Generalmente la UMA incluye tres procesos principales: enfriamiento, calefacción y humidificación, por lo que deben consignarse los siguientes datos:

- Enfriamiento: Capacidad en kW y TR, flujo volumétrico del fluido a través del serpentín que se necesita para absorber la carga térmica (gpm[17] y l/h), y condiciones de temperatura y humedad de entrada y salida.

Lugar :	ENFRIAMIENTO							
Tag	Capacidad		Refrigerante 6°C. a 12°C.		CONDICIONES			
	LKE-1 [kW]	T. R.	[gpm]	[l/h]	T.E.B.S. [°C]	H. Abs [g/kg]	T.S.B.S. [°C]	H. Abs [g/kg]
UMA-BLISTEADO	27.11	8	17.09	3882	25.03	11.55	12.00	10.358
VEXT-01		0.00	0.00	0				

Figura 53: Sección de enfriamiento de los sistemas

- Calefacción: Capacidad en kW, flujo del fluido para entregar cierta carga térmica en gpm y l/h, además de las condiciones ambientales de entrada y salida.

Lugar :	CALEFACCIÓN					
Tag	Capacidad	Agua caliente 60°C. a 40°C.		CONDICIONES		
	[kW]	[gpm]	[l/h]	T.E.B.S. [°C]	H. Abs [g/kg]	T.S.B.S. [°C]
UMA-BLISTEADO	17.12	3.24	735	12.00	10.84	22.000
VEXT-01		0.00	0			

Figura 54: Sección de calefacción de los sistemas

- Humidificación: Gasto de vapor en kg/h y condiciones ambientales de entrada y salida

[17] Galones por minuto

Área :					
Lugar :	HUMIDIFICACIÓN				
Tag	Gasto vapor	CONDICIONES			
	[kg/h]	T.E.B.S. [°C]	H. Abs [g/kg]	T.S.B.S. [°C]	H. Abs [g/kg]
UMA-BLISTEADO	11.26	21.00	37.21	21.30	45.000
VEXT-01					

Figura 55: Sección de humidificación de los sistemas

Estos datos se obtuvieron directamente de la etapa de psicrometría para las capacidades más críticas en el sistema.

Con esta operación se logró estructurar la información claramente, facilitando la validación del diseño y asegurando que todos los equipos propuestos se alineen con los estándares de calidad, así como de confiabilidad, requeridos por el cliente y las regulaciones.

El procedimiento con el que se determinó, teóricamente, el flujo volumétrico de agua requerida en el sistema fue aplicando el balance de energía de un fluido en régimen estacionario, expresado como:

$$Q = \dot{m} \cdot Cp \cdot \Delta T \qquad \textbf{E.80}$$

donde:

Q	kW	Potencia térmica intercambiada
$\dot{m}$	$\frac{kg}{s}$	Flujo másico del fluido
C_P	$4.19 \frac{kJ}{kg} \cdot °C$	Calor específico del agua
ΔT	$[°C]$	Diferencia de temperatura del fluido entre la entrada y la salida

Despejando el flujo másico:

$$\dot{m} = \frac{Q}{Cp} \cdot \Delta T \qquad \textbf{E.81}$$

y convirtiendo a flujo másico por hora (kg/h), se multiplica por 3600:

$$\dot{m}\left[\frac{kg}{h}\right] = \left(\frac{Q[kW]}{Cp\ \cdot \Delta T}\right) \cdot 3600 \qquad \textbf{E.82}$$

Al saber que la densidad del agua es aproximadamente ρ=1000 kg/m^3, el resultado en kg/h puede interpretarse también como caudal volumétrico en L/h.

Este procedimiento permitió relacionar directamente la capacidad térmica intercambiada con el flujo de agua necesaria en el serpentín de enfriamiento o calefacción, algo esencial para la correcta selección del intercambiador de calor.

Los flujos volumétricos se obtuvieron, teóricamente, de la siguiente manera:

$$m_{ENFRIAMIENTO} = \left(\frac{\left(27.11\,\frac{kJ}{s}\right)}{4.19\,\frac{kJ}{kg}\ °C \cdot (12-6\,)°C}\right) \cdot \frac{3600s}{1h} \qquad \textbf{E.83}$$

$$m_{ENFRIAMIENTO} = 3882.1\ [l/h] \qquad \textbf{E.84}$$

$$m_{ENFRIAMIENTO} = 3882.1\ \left[\frac{l}{h}\right] \cdot \left(\frac{1gal}{3.785l}\right) \cdot \left(\frac{1h}{60\ min}\right) \qquad \textbf{E.85}$$

$$m_{ENFRIAMIENTO} = 17.1\ [gpm] \qquad \textbf{E.86}$$

$$m_{CALEFACCIÓN} = \left(\frac{17.12 \frac{kJ}{s}}{4.19 \frac{kJ}{kg} °C \cdot (60 - 40\ )°C} \right) \cdot \left(\frac{3600\ s}{1\ h} \right) \qquad \textbf{E.87}$$

$$m_{CALEFACCIÓN} = 735.4654 \left[\frac{l}{h} \right] \qquad \textbf{E.88}$$

$$m_{CALEFACCIÓN} = 735.4654\ \left[\frac{l}{h} \right] \cdot \left(\frac{1gal}{3.785l} \right) \cdot \left(\frac{1h}{60min} \right) \qquad \textbf{E.89}$$

$$m_{CALEFACCIÓN} = 3.2385\ [gpm] \qquad \textbf{E.90}$$

6.2.8 Montaje de difusores, rejillas y diseño del sistema de ductería

La siguiente etapa en la elaboración del diseño de este sistema consistió, en primera instancia, en el sembrado de difusores de inyección y rejillas de extracción y/o retorno. Para ello fue necesario regresar a la hoja de cálculo *Roombook* y seleccionar el apartado No. 9 correspondiente a difusores y rejillas. Esta hoja de cálculo se encuentra dividida en tres secciones:

- En color rojo se identifica el aire de retorno.
- En color verde se presenta el aire de extracción.
- En color azul se muestra el aire de suministro.

En la sección de suministro se encuentran las columnas necesarias para definir el número y las características de los difusores por habitación:

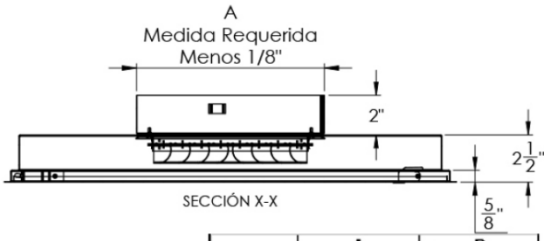
1. Número de difusores por habitación: Se indicó el número de difusores se instalarán en cada cuarto.
2. Flujo por difusor: El flujo de suministro asignado a cada difusor se calculó como el flujo volumétrico suministrado al cuarto dividido entre el número de difusores:

$$Q_{dif} = \frac{Q_s}{N_{dif}} \left[\frac{m^3}{h} \right] \qquad \textbf{E.91}$$

3. Filtros terminales HEPA: se registra su presencia; para el caso de este proyecto no se implementaron porque no hay zonas ISO-5 (unidades de flujos laminares).
4. Posteriormente se tiene la sección de difusores de inyección, establecidos para encontrar las columnas de ancho y largo asociadas a las dimensiones del plato del difusor.

5. En el mismo apartado de difusores de inyección se tiene velocidad sobre área cuello/velocidad cuello: la hoja contempla columnas para velocidad sobre área de placa (para difusores sin cuello) y velocidad del aire en el cuello (para difusores con salida en sección circular). Para este proyecto se emplearon estas últimas.

El método para calcular las dimensiones de plato y el diámetro de cuello correctamente se realizó en función de las dimensiones existentes en el mercado y de un fabricante especializado, las cuales se muestran en la siguiente imagen:



Modulo	A Cuello	B Plato
24" x 24"	6"	23 3/4
	8"	23 3/4
	10"	23 3/4
	12"	23 3/4
	14"	23 3/4
	16"	23 3/4
	18"	23 3/4
20" x 20"	6"	19 3/4
	8"	19 3/4
	10"	19 3/4
	12"	19 3/4
	14"	19 3/4
	16"	19 3/4
16" x 16"	6"	15 3/4
	8"	15 3/4
	10"	15 3/4
	12"	15 3/4
12" x 12"	6"	11 3/4
	8"	11 3/4

Figura 56: Dimensiones de cuello de acuerdo con las dimensiones del plato (comerciales)

En la que el módulo corresponde al ancho y largo del plato del difusor, la sección A al diámetro de cuello (al que se le resta ⅛”) y la sección B a la medida real de ancho y largo del plato. La razón de restar ⅛ a la medida comercial es para establecer una tolerancia que tiene como propósito facilitar el montaje del plato y cuello. Esta acción asegura que haya un espacio adecuado para que el difusor se pueda montar o ajustar sin que quede demasiado ajustado o haya fricción innecesaria.

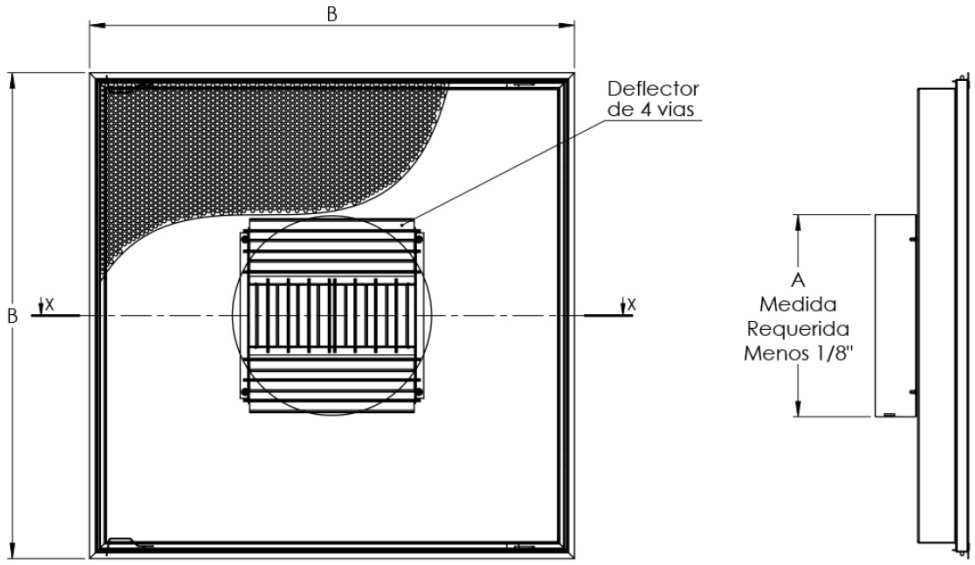


Figura 57: Secciones del difusor de inyección de aire

Una vez definidos estos parámetros, lo siguiente que se consideró es la velocidad en el cuello. Como norma interna, se estableció que la velocidad del aire suministrado por el difusor debe mantenerse en un rango de 1.5 a 2 m/s, con el propósito de asegurar una adecuada distribución del flujo. Al mismo tiempo, fue imprescindible controlar el aspecto acústico, ya que a mayor velocidad aumenta el riesgo de generar ruido innecesario; un aspecto molesto e indeseable para el usuario. Por esta razón, se recomienda mantener la velocidad dentro del rango establecido, evitando que el sonido producido en los difusores pueda propagarse de forma significativa.

El número de difusores a instalar depende totalmente del criterio del diseñador, pudiendo satisfacer la demanda de aire de suministro y de las dimensiones de la habitación. Por ejemplo, en un cuarto de grandes dimensiones y con un elevado porcentaje de aire de suministro, será necesario instalar varios difusores para cubrir completamente la demanda, siempre respetando la velocidad establecida en el cuello y considerando las características físicas del espacio. Esto permite asegurar que el aire se inyecte y distribuya uniformemente en toda la habitación.

Para este proyecto, y en seguimiento a mi criterio, realicé la selección e instalación conceptual de difusores tomando en cuenta los aspectos mencionados, aun tratándose de un diseño conceptual, pues resultan esenciales para lograr una propuesta viable y funcional.

EOLIS

Cliente:	Revisión	Elaboró	Fecha	Revisó	Fecha	Aprobó	Fecha
Obra:	JUZ	SMA	08/07/25				
Ubicación:							

Identificación No.	Nombre del cuarto	AIRE DE SUMINISTRO											
				Filtros terminales HEPA				Difusores de Inyeccion					
		Cantidad de suministros [pza.]	Flujo de aire por suministro [m3/h]	Ancho [m]	x	Largo [m]	velocidad sobre área cuello [m/s]	Ancho [in]	x	Largo [in]	velocidad sobre área cuello [m/s]	Diametro cuello [in]	velocidad cuello [m/s]
1	ÁREA DE BLISTER	4	700		x		0	20	x	20	0.75	14	1.96
2	ESCLUSA MATERIALES BLISTER	1	920		x		0	20	x	20	0.99	16	1.97
3	ESCLUSA PERSONAL BLISTER	1	730		x		0	20	x	20	0.79	16	1.56
4	ÁREA DE LAVADO BLISTER	1	200		x		0	16	x	16	0.34	8	1.71
5	ESCLUSA ÁREA DE LAVADO BLISTER	1	620		x		0	20	x	20	0.67	14	1.73
6	ÁREA DE EMPACADO COLECTIVO	2	350		x		0	16	x	16	0.59	10	1.92
7	PASILLO	2	385		x		0	16	x	16	0.65	12	1.47
8	ESCLUSA DE PERSONAL GENERAL	1	100		x		0	12	x	12	0.30	6	1.52
9	ESCLUSA MATERIALES ALMACÉN	1	100		x		0	12	x	12	0.30	6	1.52
	TOTAL	14	4105										

Figura 58: Hoja de cálculo para determinar dimensiones y cantidad de difusores de inyección por cuarto

Esta velocidad en cuello se puede obtener utilizando de nueva cuenta el principio del caudal volumétrico, ahora empelándolo particularmente al flujo volumétrico de cada difusor:

$$Q_{dif} = V_{cuello} \cdot A_{cuello} \qquad \textbf{E.92}$$

$$V_{cuello} = \frac{Q_{dif}}{A_{cuello}} \qquad \textbf{E.93}$$

Recordando que el cuello es de una sección circular

$$A_{cuello} = \pi \cdot \left(\frac{D_{cuello}}{2}\right)^2 \qquad \textbf{E.94}$$

$$V_{cuello} = \frac{Q_{dif}}{\pi \cdot \left(\frac{D_{cuello}}{2}\right)^2}$$ **E.95**

Para las secciones de retorno y extracción, se presentaron casos similares al anterior, en los que también se encuentran las columnas necesarias para definir el número y las características de las rejillas de retorno y extracción por habitación:

1. Número de rejillas por habitación: Se indicó el número de rejillas que van a instalar en cada cuarto.
2. Flujo por rejillas: El flujo de retorno asignado a cada rejilla se calcula como el flujo volumétrico suministrado al cuarto dividido entre el número de difusores:

$$Q_{dif} = \frac{Q_s}{N_{dif}} \left[\frac{m^3}{h}\right]$$ **E.96**

3. Para el caso de retorno, la hoja de cálculo contempla un apartado específico denominado retornos bajos, el cual hace referencia a la instalación de rejillas de retorno ubicadas en la parte inferior de los muros de una habitación. Este tipo de retorno se emplea principalmente en áreas necesarias para garantizar la correcta extracción de partículas pesadas, contaminantes o vapores que, por densidad o condiciones de operación, tienden a concentrarse en las zonas cercanas al piso. Para el caso de este proyecto, no fue necesario utilizarlo.
4. Posteriormente se encuentra el apartado destinado a las rejillas de retorno y extracción, en la cual se encuentran las columnas de ancho y largo correspondientes a las dimensiones de la rejilla.
5. En el mismo apartado se tiene la velocidad sobre cuello/velocidad cuello. El documento contempla columnas para velocidad sobre área de la rejilla y velocidad del aire en el cuello (para rejillas con salida en sección circular). Para el caso de las rejillas de extracción y retorno se utilizó la velocidad del aire sobre la rejilla.

El método para determinar las dimensiones de largo y ancho de las rejillas de retorno se adaptó a las opciones establecidas en el catálogo del fabricante. Dicho catálogo presenta una tabla de selección en la que cada combinación de dimensiones se asoció a un flujo volumétrico máximo y a la velocidad de paso correspondida. Obedeciendo a los productos

del fabricante, sus dimensiones comerciales se expresaron en pulgadas, el flujo volumétrico en pies cúbicos por minuto (CFM) y la velocidad en pies por minuto (fpm).

La selección se realizó tomando como base el flujo volumétrico requerido para cada rejilla, identificando en el catálogo aquellas dimensiones cuya capacidad de paso permita mantener la velocidad de aire dentro del rango de 1 a 2 m/s (aprox. 200 a 400 fpm), según lo establecido en una norma interna de la empresa. En la práctica, se eligió una medida comercial que resulte conveniente para la instalación y, posteriormente, se verificó que la velocidad resultante para el caudal de diseño permaneciera dentro del rango especificado. Si se cumple este criterio, las dimensiones elegidas se consideran adecuadas para garantizar un funcionamiento eficiente, silencioso y seguro de las rejillas.

Rejilla de Retorno — Acero o Aluminio

Tamaño de cuello (pulg)	Área Nominal de Ducto (ft^2)	Velocidad en la cara (fpm)	300	400	500	600	700	800	1000	1200	1400
		Presión de Velocidad (Pv)	0.006	0.010	0.016	0.022	0.031	0.040	0.062	0.090	0.122
		Presión Estática (-Ps)	0.029	0.051	0.079	0.114	0.156	0.203	0.318	0.458	0.623
6x6	0.25	Flujo de aire (CFM)	57	79	95	114	133	152	190	228	266
		Nivel de ruido (NC)	-	-	-	-	13	16	21	26	30
8x6	0.33	Flujo de aire (CFM)	78	104	130	156	182	208	260	312	364
		Nivel de ruido (NC)	-	-	-	-	14	17	23	27	31
10x6	0.42	Flujo de aire (CFM)	102	136	170	204	238	272	340	408	476
		Nivel de ruido (NC)	-	-	-	11	15	18	24	28	32
8x8	0.44	Flujo de aire (CFM)	111	148	185	222	259	296	370	444	518
		Nivel de ruido (NC)	-	-	-	12	15	19	24	29	33
12x6	0.50	Flujo de aire (CFM)	123	164	205	246	287	328	410	492	574
		Nivel de ruido (NC)	-	-	-	12	16	19	25	29	33
14x6	0.58	Flujo de aire (CFM)	144	192	240	288	336	384	480	576	672
		Nivel de ruido (NC)	-	-	-	13	17	20	25	30	34
16x6 12x8	0.67	Flujo de aire (CFM)	171	228	285	342	399	456	570	684	798
		Nivel de ruido (NC)	-	-	-	14	17	21	26	31	34
10x10	0.69	Flujo de aire (CFM)	177	236	295	354	413	472	590	708	826
		Nivel de ruido (NC)	-	-	-	14	18	21	26	31	35
18x6	0.75	Flujo de aire (CFM)	189	252	315	378	441	504	630	756	882
		Nivel de ruido (NC)	-	-	-	14	18	21	27	31	35
20x6 12x10	0.83	Flujo de aire (CFM)	216	288	360	432	504	576	720	864	1008
		Nivel de ruido (NC)	-	-	-	-	15	18	22	27	32

Figura 59: Tabla comercial para determinar dimensiones de rejillas de retorno de aire con base en flujo y velocidad de aire

Al igual que los difusores de aire de suministro la decisión del número de rejillas a instalarse se basó en mi criterio en función del volumen de extracción y las dimensiones del cuarto en el que será instalado. El objetivo principal fue garantizar que el flujo pueda extraerse uniformemente y así se tuviera un sistema de retorno o extracción funcionable, haciendo que el aire pueda extraerse uniformemente en toda la zona, evitando la formación de corrientes indeseadas, zonas muertas o acumulación de contaminantes.

Para este proyecto realicé la selección e instalación conceptual de rejillas correspondientes a los procesos de retorno y extracción, respetando los aspectos mencionados con antelación.

EOLIS

SELECCIÓN DE REJILLAS, DIFUSORES Y FILTROS TERMINAL

Cliente: Empresa de empaque farmacéutico
Obra: HVAC
Ubicación: Cd. de México, CDMX
Edificio: Planta Baja
Área: Blisteado
Sistema: UMA-BLISTEADO
PROY:/C.P.: P25FARMA3717

Identificación	Nombre del cuarto	AIRE DE RETORNO												AIRE DE EXTRACCION						
				Retornos bajo				Rejilla/filtro de retorno								Rejillas de extraccion				
No.		Cantidad de retornos [pza.]	Flujo de aire por retorno [m3/h]	Ancho [m]	x	Largo [m]	velocidad sobre área cuello [m/s]	Ancho [in]	x	Largo [in]	velocidad sobre cuello [m/s]	Diametro cuello [in]	velocidad cuello [m/s]	Cantidad de extracciones [pza.]	Flujo de aire por extraccion [m3/h]	Ancho [in]	x	Largo [in]	velocidad sobre área cuello [m/s]	Diametro cuello [in]	velocidad cuello [m/s]
1	ÁREA DE BLISTER	4	810		x		0	10	x	18	1.94		0		0		x		0		0
2	ESCLUSA MATERIALES BLISTER	1	100		x		0	6	x	8	0.90		0		0		x		0		0
3	ESCLUSA PERSONAL BLISTER	1	100		x		0	6	x	8	0.90		0		0		x		0		0
4	ÁREA DE LAVADO BLISTER		0		x		0		x		0		0	1	460	10	x	12	1.65		0
5	ESCLUSA ÁREA DE LAVADO BLISTER	1	100		x		0	6	x	8	0.90		0		0		x		0		0
6	ÁREA DE EMPACADO COLECTIVO	2	800		x		0	10	x	18	1.91		0		0		x		0		0
7	PASILLO	1	100		x		0	6	x	8	0.90		0		0		x		0		0
8	ESCLUSA DE PERSONAL GENERAL		0		x		0		x		0		0	1	470	10	x	12	1.69		0
9	ESCLUSA MATERIALES ALMACÉN	1	100		x		0	6	x	8	0.90		0		0		x		0		0
	TOTAL	11	2110											2	930						

Figura 60: Hoja de cálculo para determinar dimensiones y cantidad de rejillas de retorno y extracción por cuarto

Teóricamente esta velocidad en la sección rectangular de la rejilla se puede obtener utilizando de nueva cuenta el principio del caudal volumétrico, ahora empleándolo según el flujo volumétrico de cada una:

$$Q_{rej} = V_{cuello} \cdot A_{cuello} \qquad \textbf{E.97}$$

$$V_{cuello} = \frac{Q_{dif}}{A_{cuello}} \qquad \textbf{E.98}$$

Recordando que el cuello es de una sección rectangular

EOLIS

SELECCIÓN DE REJILLAS, DIFUSORES Y FILTROS TERMINALES

Cliente: Empresa de empaque farmacéutico
Obra: HVAC
Ubicación: Cd. de México, CDMX
Edificio: Planta Baja
Área: Blisteado
Sistema: UMA-BLISTEADO
PROY:/C.P.: P25FARMA3717

Revisión	Elaboró	Fecha	Revisó	Fecha	Aprobó	Fecha
JUZ	SMA	08/07/25				

Identificación	Nombre del cuarto	AIRE DE RETORNO												AIRE DE EXTRACCION							AIRE DE SUMINISTRO											
				Retornos bajo				Rejilla/filtro de retorno								Rejillas de extraccion							Filtros terminales HEPA				Difusores de Inyeccion					
No.		Cantidad de retornos [pza.]	Flujo de aire por retorno [m3/h]	Ancho [m]	x	Largo [m]	velocidad sobre área cuello [m/s]	Ancho [in]	x	Largo [in]	velocidad sobre cuello [m/s]	Diametro cuello [in]	velocidad cuello [m/s]	Cantidad de extracciones [pza.]	Flujo de aire por extraccion [m3/h]	Ancho [in]	x	Largo [in]	velocidad sobre área cuello [m/s]	Diametro cuello [in]	velocidad cuello [m/s]	Cantidad de suministros [pza.]	Flujo de aire por suministro [m3/h]	Ancho [m]	x	Largo [m]	velocidad sobre área cuello [m/s]	Ancho [in]	x	Largo [in]	velocidad sobre área cuello [m/s]	Diametro cuello [in]	velocidad cuello [m/s]
1	ÁREA DE BLISTER	4	810		x		0	10	x	18	1.94		0		0		x		0		0	4	700		x		0	20	x	20	0.75	14	1.96
2	ESCLUSA MATERIALES BLISTER	1	100		x		0	6	x	8	0.90		0		0		x		0		0	1	920		x		0	20	x	20	0.99	16	1.97
3	ESCLUSA PERSONAL BLISTER	1	100		x		0	6	x	8	0.90		0		0		x		0		0	1	730		x		0	20	x	20	0.79	16	1.56
4	ÁREA DE LAVADO BLISTER		0		x		0		x		0		0	1	460	10	x	12	1.65		0	1	200		x		0	16	x	16	0.34	8	1.71
5	ESCLUSA ÁREA DE LAVADO BLISTER	1	100		x		0	6	x	8	0.90		0		0		x		0		0	1	620		x		0	20	x	20	0.67	14	1.73
6	ÁREA DE EMPACADO COLECTIVO	2	800		x		0	10	x	18	1.91		0		0		x		0		0	2	350		x		0	16	x	16	0.59	10	1.92
7	PASILLO	1	100		x		0	6	x	8	0.90		0		0		x		0		0	2	385		x		0	16	x	16	0.65	12	1.47
8	ESCLUSA DE PERSONAL GENERAL		0		x		0		x		0		0	1	470	10	x	12	1.69		0	1	100		x		0	12	x	12	0.30	6	1.52
9	ESCLUSA MATERIALES ALMACÉN	1	100		x		0	6	x	8	0.90		0		0		x		0		0	1	100		x		0	12	x	12	0.30	6	1.52
	TOTAL	11	2110											2	930							14	4105										

Figura 61: Hoja de cálculo completa para la selección de rejillas, difusores y filtros terminales

$$A_{cuello} = Largo \cdot Ancho \qquad \textbf{E.99}$$

$$V_{cuello} = \frac{Q_{dif}}{Largo \cdot Ancho} \qquad \textbf{E.100}$$

Desde mi punto de vista, resultó más práctico iniciar el diseño con el sembrado de difusores y rejillas de extracción/retorno, ya que una vez definidas su ubicación, cantidad y el caudal que suministran o extraen, se obtuvo una guía base para el trazado de ductos y la realización de las ramificaciones necesarias que permitan lograr una distribución de aire adecuada y uniforme en cada habitación.

Para la instalación del sistema de ductería se debieron considerar además ciertas problemáticas comunes presentadas en campo. Una de ellas está relacionada con la naturaleza de la dinámica de los fluidos, pues el aire tiende a desplazarse por los caminos más accesibles o de menor resistencia, lo cual puede generar desequilibrios si no se controla adecuadamente mediante un diseño correcto y la selección apropiada de accesorios.

Otra limitante puntual correspondió al diseño arquitectónico, ya que en la mayoría de los edificios existen obstáculos estructurales (vigas, columnas, instalaciones eléctricas o sanitarias, entre otros) que restringen la trayectoria ideal de los ductos. En un caso como este, fue indispensable plantear soluciones que permitieran evitar dichos obstáculos, adaptando el recorrido de la ductería de forma que se mantuviera el flujo correcto de aire sin afectar la funcionalidad del sistema. Este criterio de adaptación fue fundamental para evitar modificaciones en obra civil, que podrían incrementar significativamente los costos del proyecto y comprometer su rentabilidad.

El método para calcular las dimensiones de los ductos se realiza mediante el uso de un software denominado *ductulador*. Este programa permitió determinar las dimensiones de los ductos rectangulares en milímetros, considerando variables de diseño como:

Flujo volumétrico de aire	$\left[\frac{L}{s}\right]$
Tasa de caída de presión por metro recorrido	$\left[\frac{Pa}{m}\right]$
Velocidad del aire	$\left[\frac{m}{s}\right]$
Diámetro equivalente en el caso de ductos circulares, *espiroductos*	$[mm]$

Como resultado, el software proporcionó las siguientes variables reales:

Dimensiones finales del ducto	$[mm]$
Diámetro equivalente	$[mm]$
Área de paso del aire.	$[mm\ x\ mm]$
Velocidad real del fluido	$\left[\frac{m}{s}\right]$
Número de Reynolds.	-
Factor de fricción.	-
Presión de velocidad	$\left[\frac{Pa}{m}\right]$
Tasa de caída de presión	$\left[\frac{Pa}{m}\right]$

La forma más práctica de iniciar el cálculo es introducir el flujo volumétrico en L/s (conversión desde los valores en m³/h utilizados previamente) junto con la tasa de caída de presión en Pa/m, cuyo valor de referencia es 0.8 Pa/m según una norma interna.

El programa requirió que se definieran al menos dos variables de entrada para poder realizar los cálculos. Posteriormente, se propuso una dimensión estimada para uno de los lados del ducto y el software determinó la otra medida, generando así el resto de los resultados.

En este punto, fue importante aplicar ciertos criterios prácticos de diseño:

- Procurar que la huella (dimensión mayor) no excediera el doble del peralte (dimensión menor), garantizando ductos proporcionales y funcionales.
- Seleccionar medidas cerradas o múltiplos de 50 mm, a fin de coincidir con los estándares de fabricación de ductería.

Finalmente, debió verificarse que la tasa real de caída de presión obtenida en el cálculo haya sido aproximada a 0.8 Pa/m. En caso contrario, es necesario probar con diferentes combinaciones de dimensiones hasta encontrar una que cumpla con este criterio de diseño.

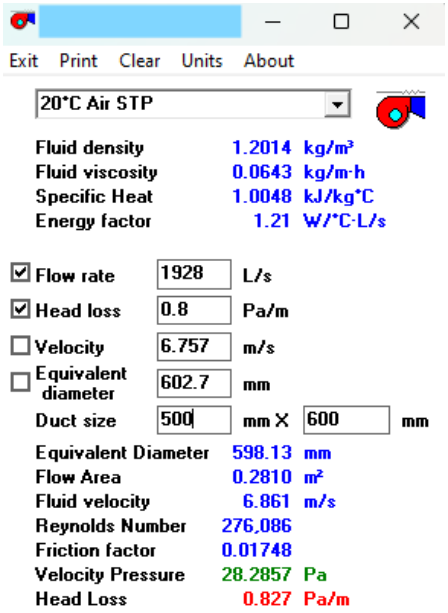


Figura 62: Resultados arrojados por el software ductulador

Este procedimiento de cálculo y diseño se aplicó en todo el sistema de ductería, es decir, tanto en suministro como en retorno y extracción.

En el caso del suministro, el aire impulsado por la unidad manejadora debía distribuirse hacia todos los difusores asignados a dicha unidad. Para ello se generaron las ramificaciones necesarias del ducto principal, procurando que, conforme el flujo se fuera dividiendo en caudales menores, las dimensiones de los ductos irían reduciendo progresivamente. Este ajuste evitó variaciones bruscas de velocidad y caídas de presión, además de implementar el uso de accesorios diseñados para acoplar diferentes dimensiones, realizar cambios de dirección o unir flujos parciales.

En el caso del retorno o extracción, el procedimiento se realizó inverso. El diseño comenzó en las rejillas de retorno, cuando los caudales individuales de cada zona se fueron colectando y sumando progresivamente en los ductos principales, hasta conformar el flujo total de aire de retorno o extracción requerido por el sistema.

Bajo este método, el diseño aseguró un equilibrio en la distribución de aire, minimizando pérdidas de carga innecesarias y garantizando que, tanto el suministro como la extracción operen coordinada y eficientemente.

El dimensionamiento de ductos se fundamenta en el principio de continuidad, en el que el flujo volumétrico de aire (Q) se relaciona con la velocidad (V) y el área de paso (A) mediante la expresión:

$$Q=V\cdot A \qquad \textbf{E.101}$$

De esta manera, al fijar el caudal de aire requerido para cada tramo del sistema, es posible obtener una velocidad promedio en función de las dimensiones propuestas del ducto.

Adicionalmente, el diseño debe garantizar que la pérdida de presión por unidad de longitud no exceda el valor de referencia establecido como criterio interno (0.8 Pa/m). Para estimar esta pérdida de carga se empleó la ecuación de Darcy–Weisbach:

$$\frac{\Delta P}{L} = f \cdot \rho \frac{V^2}{2 \cdot D_h} \qquad \textbf{E.102}$$

en el que f es el factor de fricción dependiente del número de Reynolds, ρ la densidad del aire, v la velocidad promedio y Dh el diámetro hidráulico equivalente del ducto.

Dh es clave en ductos rectangulares, y se calcula como:

$$D_h = 2 \cdot a \cdot \frac{b}{a+b} \qquad \textbf{E.103}$$

a	Huella del ducto
b	Peralte del ducto

El ductulador utilizó estas relaciones para iterar con diferentes dimensiones hasta encontrar la combinación más adecuada, asegurando que la velocidad del aire se mantuviera en rangos aceptables de operación y que la caída de presión real se aproximara al criterio de 0.8 Pa/m.

Finalmente, el recorrido de ductos se pudo realizar en un software CAD sobre un plano que tuviera una escala 1:1 con el fin de corresponder a las dimensiones del lugar en el que se llevará a cabo la obra.

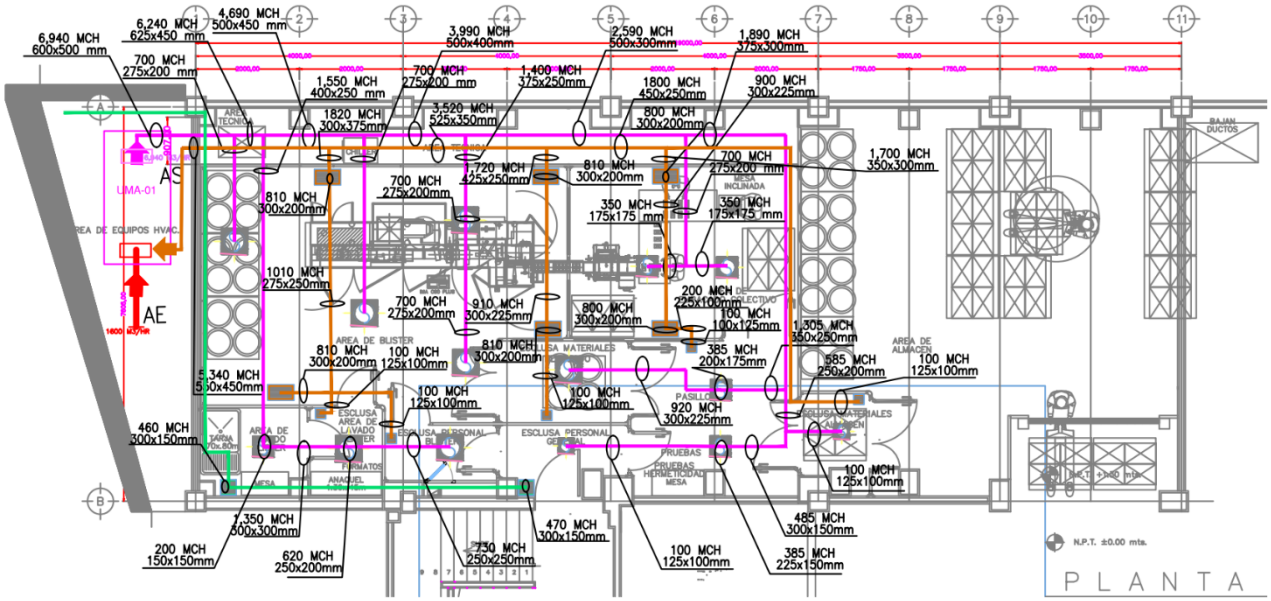


Figura 63: Recorrido de ductos hecho en software CAD

6.2.8.1 Elaboración del documento *Cálculo de Lámina según AMERIC*

Posterior a haber realizado el recorrido y dimensionamiento de toda la ductería del sistema, fue necesario llenar el documento titulado *cálculo de lámina según AMERIC, A.C. Con aislamiento de 1" de espesor.* El objetivo de realizar este documento fue calcular el peso total en kilogramos de lámina galvanizada[18] destinado a emplearse en la elaboración de los ductos para los sistemas de suministro, retorno y extracción. Con este procedimiento se cuantifica qué cantidad, de kilogramos de lámina, se van a implementar, así como el calibre correspondiente. Estas acciones proporcionan el costo unitario al cliente.

Los ductos deben ser del calibre adecuado según sus dimensiones y esto está también está guiado, directamente, de la cantidad de flujo de aire que pasará a través de estos. Para la determinación del calibre de lámina galvanizada a emplear en la construcción de ductos, se tomó como referencia lo establecido por la Asociación Mexicana de Empresas del Ramo de Instalaciones para la Construcción (AMERIC, A.C., 1983). Revisando sus normas técnicas (NAM-001-AA-83 y NAM-002-AA-83), encontré que proporciona tablas de selección de calibres que correspondan a las dimensiones de los ductos y la presencia de aislamiento térmico.

De acuerdo con dichas tablas, y considerando que en este proyecto se especificó un aislamiento térmico de 1" de espesor, se seleccionaron los calibres de lámina designados a cada tramo del sistema. Para la elaboración del documento de *cálculo de lámina* se siguió un procedimiento estandarizado. En la primera columna se indicó el tramo de ducto sobre el que

[18] En la elaboración de ductos deberá usarse lámina galvanizada o de aluminio, según el nivel de contaminación de la zona. Para lugares con condiciones ambientales normales debe usarse lámina galvanizada, y lámina de aluminio para lugares con alta contaminación.

se está trabajando, seguido de las dimensiones en milímetros (arrojados por el software ductulador). A continuación, se registró la longitud del ducto que corresponda, que fue determinado a partir del recorrido trazado en el modelo CAD y tomando en cuenta el flujo de aire que circula en cada tramo[19].

El formato incluye también una opción para especificar si se requiere doble ducto, lo cual se aplica en instalaciones en intemperie debido a las exigencias de durabilidad y protección térmica adicionales. En columnas posteriores se convierten las dimensiones en pulgadas, se calcula el semiperímetro del ducto y se asigna el calibre de lámina galvanizada correspondiente, basándose en las tablas de AMERIC. Con base en este calibre, por medio de la hoja de cálculo se obtiene el peso en kilogramos de cada tramo, así como el total acumulado por calibre.

Finalmente, se indicaron los m^2 de aislamiento por cada metro lineal, así como el tipo de aislamiento que correspondió según el calibre seleccionado (fibra de vidrio para ductos interiores y placa de polietileno para ductos que irán en intemperie) y, para efectos constructivos, se especificó el tipo de unión MABAG requerido, tanto en piezas como en metros, con el fin de garantizar la hermeticidad y la correcta instalación del sistema. Además, se consideró un factor de seguridad del 25% sobre el peso total de lámina calculado. Este margen adicional se incorporó con el objetivo de contemplar posibles ajustes en obra, asegurando que se disponga de suficiente material para la elaboración del presupuesto y al mismo tiempo contar con un margen de maniobra durante la etapa de ingeniería de detalle. Esto proporciona una ventaja en cuanto a la optimización del diseño, dado que el costo final tiene posibilidades de reducirse.

[19] Para este paso es importante destacar que incluí algunos metros adicionales en los ductos que consideré que existieron bajadas o subidas evidentes (por ejemplo, el ducto de aire de suministro proveniente del área técnica que debe ingresar al área de proceso). Esto se debe a que, por la naturaleza de un modelo CAD en 2D, no es posible visualizar con exactitud este tipo de variaciones en altura, por lo que deben suponerse en función de la altura del edificio y de las condiciones constructivas reales.

CÁLCULO DE LAMINA SEGÚN AMERIC, A.C. CON AISLAMIENTO DE 1" DE ESPESOR

EOLIS

CLIENTE : Empresa de empaque farmacéutico
LUGAR : CUAJIMALPA, CD. DE MÉXICO
C.P. O PROY : P25FARMA3717
ÁREA: BLISTEADO
EQUIPO: UMA-BLISTER

ELABORO : SMA
FECHA: 23-jul-25
REVISO: JUZ

Lamina Calibre:		
	26	4.04 [kg/m²]
	24	4.65 [kg/m²]
	22	6.49 [kg/m²]
	20	7.71 [kg/m²]
	18	10.15 [kg/m²]

DUCTO	DIMENSIÓN ANCHO [mm]	DIMENSIÓN ALTO [mm]	LONG. DUCTO [m]	DOBLE DUCTO [m]	DIMENSIÓN ANCHO [in]	DIMENSIÓN ALTO [in]	SEMIP. [in]	CAL.	PESO [kg/m]	CANTIDAD DE DUCTOS CAL.26 [kg]	CAL.24 [kg]	CAL.22 [kg]	CAL.20 [kg]	CAL.18 [kg]	AISLAMIENTO 1" [m²/m.l.]	[m²] F.VID.	[m²] P.POL.	Conexión Mabag-22 [pza]	Mabag-22 [m]
AS [MCH]																			
6,940	600	500	6.00	2.00	24	20	44	24	14.858	27.406	89.15				2.5778		5.16	8.00	17.6
700	275	200	3.00		11	8	19	24	6.808		20.42				1.1778	3.53		4.00	3.8
6,240	625	450	1.00		25	18	43	24	14.554		14.55				2.5218	2.52		2.00	4.3
1550	400	250	7.00		16	10	26	24	9.161		64.13				1.5698	10.99		9.00	11.7
200	150	150	2.00		6	6	12	24	4.370		8.74				0.7858	1.57		3.00	1.8
1350	300	300	3.00		12	12	24	24	8.496		25.49				1.4578	4.37		4.00	4.8
620	250	200	2.00		10	8	18	24	6.463		12.93				1.1218	2.24		3.00	2.7
730	250	250	4.00		10	10	20	24	7.147		28.59				1.2338	4.94		5.00	5
4,690	500	450	2.00		20	18	38	24	13.015		26.03				2.2418	4.48		3.00	5.7
700	275	200	5.00		11	8	19	24	6.808		34.03				1.1778	5.89		7.00	6.65
3,990	500	400	2.00		20	16	36	24	12.388		24.78				2.1298	4.26		3.00	5.4
1,400	375	250	7.00		15	10	25	24	8.829		61.80				1.5138	10.60		9.00	11.25
2,590	500	300	5.00		20	12	32	24	11.116		55.58				1.9058	9.53		7.00	11.2
700	275	200	4.00		11	8	19	24	6.808		27.22				1.1778	4.71		5.00	4.75
350	175	175	1.00		7	7	14	24	5.074		5.07				0.8978	0.90		2.00	1.4
350	175	175	1.00		7	7	14	24	5.074		5.07				0.8978	0.90		2.00	1.4
1,890	375	300	8.00		15	12	27	24	9.491		75.93				1.6258	13.01		10.00	13.5
1,305	350	250	2.00		14	10	24	24	8.496		16.99				1.4578	2.92		3.00	3.6
385	200	175	2.00		8	7	15	24	5.424		10.85				0.9538	1.91		3.00	2.25
920	300	225	6.00		12	9	21	24	7.487		44.92				1.2898	7.74		8.00	8.4
585	250	200	1.00		10	8	18	24	6.463		6.46				1.1218	1.12		2.00	1.8
485	300	150	3.00		12	6	18	24	6.463		19.39				1.1218	3.37		4.00	3.6
385	225	150	2.00		9	6	15	24	5.424		10.85				0.9538	1.91		3.00	2.25
100	125	100	3.00		5	4	9	24	3.301		9.90				0.6178	1.85		4.00	1.8
100	125	100	2.00		5	4	9	24	3.301		6.60				0.6178	1.24		3.00	1.35
AR [MCH]																			
5,340	550	450	10.00	2.00	22	18	40	24	13.635	25.363	136.35				2.3538		4.71	12.00	24
1,820	375	300	2.00		15	12	27	24	9.491		18.98				1.6258	3.25		3.00	4.05
810	300	200	1.00		12	8	20	24	7.147		7.15				1.2338	1.23		2.00	2
1,010	275	250	6.00		11	10	21	24	7.487		44.92				1.2898	7.74		8.00	8.4
810	375	300	2.00		15	12	27	24	9.491		18.98				1.6258	3.25		3.00	4.05
100	125	100	2.00		5	4	9	24	3.301		6.60				0.6178	1.24		3.00	1.35
100	125	100	4.00		5	4	9	24	3.301		13.20				0.6178	2.47		5.00	2.25
3,520	525	350	5.00		21	14	35	24	12.073		60.36				2.0738	10.37		7.00	12.25
1,720	425	250	2.00		17	10	27	24	9.491		18.98				1.6258	3.25		3.00	4.05
810	375	300	2.00		15	12	27	24	9.491		18.98				1.6258	3.25		3.00	4.05
910	300	225	3.00		12	9	21	24	7.487		22.46				1.2898	3.87		4.00	4.2
810	375	300	2.00		15	12	27	24	9.491		18.98				1.6258	3.25		3.00	4.05
100	125	100	3.00		5	4	9	24	3.301		9.90				0.6178	1.85		4.00	1.8
1,800	450	250	3.00		18	10	28	24	9.819		29.46				1.6818	5.05		4.00	5.6
1,700	350	300	2.00		14	12	26	24	9.161		18.32				1.5698	3.14		3.00	3.9
800	300	200	2.00		12	8	20	24	7.147		14.29				1.2338	2.47		3.00	3
350	175	175	3.00		7	7	14	24	5.074		15.22				0.8978	2.69		4.00	2.8
800	300	200	1.00		12	8	20	24	6.503		6.50				1.2338	1.23		2.00	2
200	225	100	2.00		9	4	13	24	4.227		8.45				0.8418	1.68		3.00	1.95
100	125	100	1.00		5	4	9	24	2.926		2.93				0.6178	0.62		2.00	0.9
100	125	100	12.00		5	4	9	24	2.926		35.12				0.6178	7.41		14.00	6.3
AEXT [MCH]																			
470	300	150	7.00		12	6	18	24	5.853		40.97				1.1218	7.85		9.00	8.1
460	300	150	13.00	2.00	12	6	18	24	5.853	12.231	76.09				1.1218		2.24	15.00	13.5
								TOTALES =		65.00	1348.69					183.66	12.11	235.00	262.55

			F.S.= 25%
Lamina calibre No. 26	65	[kg] (para sobre ducto)	82 [kg]
Lamina calibre No. 24	1349	[kg]	1690 [kg]
Lamina calibre No. 22		[kg]	[kg]
Lamina calibre No. 20		[kg]	[kg]
Lamina calibre No. 18		[kg]	[kg]
Aislamiento F. Vidrio	183.66	[m²]	231 [m²]
Aislamiento Poliestireno	12.11	[m²]	16 [m²]

Con cada 0.9 m de ducto una unión se necesitan:

			F.S.= 25%
Esquineros para ducto M-22	940	[pza]	1177 [pza]
Ángulos de refuerzo para M-22	1880	[pza]	2355 [pza]
Perfil de unión Mabag-22	289	[m]	362 [m]
Tornillos 5/16"x2" para M-45		[pza]	[pza]
Escuadras para M-45		[pza]	[pza]
Perfil de unión Mabag-45		[m]	[m]

Figura 64: Hoja de cálculo para determinar la cantidad en kg de lámina y aislamiento, para ductos

Posteriormente, se incluyó un resumen del total de kilogramos de lámina por calibre, así como de los metros cuadrados de aislamiento de fibra de vidrio y de placa de poliestireno, considerando el factor de seguridad del 25% previamente aplicado. Este resumen permitió disponer de la información de forma más práctica y accesible en la elaboración de la oferta presupuestal, facilitando la planeación de costos y la gestión de materiales.

RESUMEN

EOLIS

CLIENTE : Empresa de empaque farmacéutico
LUGAR : CUAJIMALPA, CD. DE MÉXICO
C.P. O PROY : P25FARMA3717

ELABORO : SMA
FECHA: 23-jul-25
REVISO: JUZ

EQUIPO	ÁREA	CALIBRE 26 [kg]	CALIBRE 24 [kg]	CALIBRE 22 [kg]	CALIBRE 20 [kg]	CALIBRE 18 [kg]		AISLAMIENTO (fibra de vidrio) [m²]	AISLAMIENTO (placa de poliestireno) [m²]
UMA-BLIST	BLISTEADO	82.00	1690.00					231.00	16.00
		82.00	**1,690.00**					**231.00**	**16.00**
1,772.00 [kg] LAMINA TOTAL (DUCTO Y DOBLE DUCTO)								**247.00 [m²] AISLAMIENTO TOTAL (FIBRA Y PLACA)**	

Figura 65: Cantidad de lámina y aislamiento arrojados por la hoja de cálculo

El método teórico está basado en las Normas AMERIC, A.C., NAM-001-AA-83 y NAM-002-AA-83, que proporcionan fórmulas específicas basadas en el perímetro del ducto y el calibre de la lámina; la selección de esta última tradicionalmente se basa en recomendaciones norteamericanas. Sin embargo, la norma ANSI 832.3 establece que los espesores deben expresarse en milímetros, más allá del número de calibre. En este sentido, el Manual de Equipos de 1979 de ASHRAE define los espesores que corresponden a los antiguos calibres del #10 al #28, los cuales se usan aún como referencia.

En México, los fabricantes de lámina galvanizada utilizan espesores y pesos unitarios específicos para cada calibre. Los calibres considerados por el método ya establecido en la empresa son los siguientes:

Calibre 26	0.508 mm	4.04 kg/m²	Sólo se menciona, no se utiliza.
Calibre 24	0.584 mm	4.65 kg/m²	Si la huella o peralte es menor o igual a 700 mm
Calibre 22	0.813 mm	6.49 kg/m²	Si la huella o peralte es mayor que 700 y, menor o igual a 1,300 mm
Calibre 20	1.00 mm	7.71 kg/m²	Si la huella o peralte es mayor que 1,300 y, menor o igual a 2,000 mm
Calibre 18	1.27 mm	10.15 kg/m²	Si la huella o peralte es mayor que 1,300 y, menor o igual a 2,000 mm

Para calcular los kilogramos por metro de ducto se emplea la NAM-001-AA-83, que indica que cuando el semiperímetro del ducto (la suma de la huella y el peralte del ducto, es decir de a y b) se suministra en metros y es menor a 1.5 m, la fórmula es la siguiente:

$$Superficie\ de\ lámina\ por\ metro\ lineal_{<1.5\ m} = 2.63875 \cdot (a+b) \cdot 1.12^{u} \cdot (1.3 - 0.1C) \cdot w \qquad \textbf{E.104}$$

Dónde

u	$\dfrac{1.5-(a+b)}{1.2}$	Exponente de ajuste por tamaño del ducto

C	-	Número de calibre
w	$\frac{kg}{m^2}$	Peso de la lámina por metro cuadrado, según el calibre

En cambio, si el semiperímetro es 1.50 m o mayor, la fórmula se simplifica a:

$$Superficie\ de\ lámina\ por\ metro\ lineal_{\geq 1.5\ m} = 2.63875 \cdot (a + b)\,(1.30 - 0.01C) \cdot w \qquad \textbf{E.105}$$

Continuando con el ejemplo propuesto, en el ductulador (para el dimensionamiento del ducto principal de suministro), procedí a realizar el cálculo teórico con el fin de contrastar y validar los resultados obtenidos:

Ducto de 500x600 mm

$$a + b = 0.5 + 0.6 = 1.1 \qquad \textbf{E.106}$$

$$u = \frac{1.5 - (1.1)}{1.2} = \frac{1}{3} \qquad \textbf{E.107}$$

$$C = 24 \qquad \textbf{E.108}$$

$$w = 4.04\frac{kg}{m^2} \qquad \textbf{E.109}$$

Entonces:

$$Superficie\ de\ lámina\ por\ metro\ lineal_{<1.5\ m} = 2.63875 \cdot (1.1) \cdot 1.12^{1/3} \cdot (1.3 - 0.01(26)) \cdot 4.04 \qquad \textbf{E.110}$$

$$Superficie\ de\ lámina\ por\ metro\ lineal_{<1.5m} = 14.8578\frac{kg}{m} \qquad \textbf{E.111}$$

Y para obtener el kilogramo neto, basta con multiplicarlo con la longitud total de ducto:

$$Peso\ de\ lámina = 14.8578\frac{kg}{m} \cdot 6m \qquad \textbf{E.112}$$

Peso de lámina=89.1468 kg **E.113**

Ahora, para calcular los metros cuadrados de aislamiento por metro lineal se emplea la misma norma utilizando la siguiente fórmula:

$$\frac{m^2}{m} = (a + b + 2e) \cdot 2.24 \quad \textbf{E.114}$$

Dónde: e es el espesor del aislamiento en metros y 2.24 es un factor con 12% de margen por recortes.

Continuando con el ejemplo anterior su aislamiento se determinó de la siguiente manera:

$$Superficie\ de\ aislamiento\ por\ metro\ lineal = (0.5 + 0.6 + 2(0.0254) \cdot 2.24 \quad \textbf{E.115}$$

$$Superficie\ de\ aislamiento\ por\ metro\ lineal = 2.5778 \frac{m^2}{m} \quad \textbf{E.116}$$

Y nuevamente para obtener el kilogramo neto, pero ahora de aislamiento, basta con multiplicarlo con la longitud total del ducto:

$$Peso\ de\ aislamiento = 2.5778\ kg \cdot 6m \quad \textbf{E.117}$$

Peso de aislamiento =15.4668 kg **E.118**

Este análisis corresponde a lo obtenido en el documento de *cálculo de lámina.*

6.3 Elaboración de la oferta presupuestal

Como procedimiento final, una vez completados los pasos necesarios para la elaboración del diseño conceptual, correspondiente la preparación de la oferta presupuestal, tendrá que ser revisada y autorizada por el jefe directo antes de enviarse como propuesta formal al cliente.

El propósito de recopilar las cotizaciones de todos los equipos pensados a implementar, así como los costos de artículos internos fabricados en la planta de producción de la empresa, fue consolidar la información para estimar un costo total que resulte atractivo, convincente y competitivo. Es fundamental mantener en todo momento una comunicación directa con el

cliente, especialmente en los casos en que, en atención a nuestra evaluación, algún equipo solicitado resulte en un incremento considerable de costo, aspecto que podría aumentar el presupuesto inicial, o bien cuando surjan requerimientos adicionales no contemplados inicialmente. Este seguimiento continuo evita discrepancias significativas entre el planteamiento formal y las expectativas del cliente.

El procedimiento para estructurar la oferta presupuestal inicia con la elaboración de un catálogo de conceptos, que consistió en una hoja de cálculo detallada que desglosa todos los artículos contemplados en el proyecto, complementados con sus respectivos costos.

En él, se establece la base para el desarrollo de etapas posteriores, en caso de que el cliente apruebe la propuesta. Cómo la elaboración de la ingeniería de detalle, la cual permite realizar un ajuste en el presupuesto, con el objetivo de optimizar el inicial, evitando tanto la falta de recursos como el excedente de materiales que pudiera generar complicaciones en la ejecución del proyecto. También se integran los elementos económicos adicionales que forman parte del presupuesto final, tales como materiales, mano de obra, montaje, fletes, seguros, viáticos, entre otros.

Adicionalmente, la oferta se complementa con una portada personalizada, que otorga una presentación más atractiva al cliente; así como con un documento de términos y condiciones, en el que se establecen los lineamientos del proyecto junto con el costo total propuesto.

6.3.1 Elaboración del *Catálogo de Conceptos*

El catálogo de conceptos constituye una herramienta fundamental en la estructuración de proyectos de ingeniería, ya que permite organizar sistemáticamente todos los elementos que integran la solución propuesta. Su elaboración parte de la desagregación del diseño conceptual en componentes técnicos individuales, facilitando tanto la estimación de costos como la planeación de la ejecución.

El procedimiento para su desarrollo consistió en identificar, en primera instancia, los equipos principales del sistema (unidad manejadora de aire, ventilador de extracción, unidad de expansión directa, unidad generadora de agua caliente, etc.), así como los materiales asociados (ductería, aislamiento térmico, rejillas, compuertas, accesorios de montaje, entre otros) y los servicios complementarios (instalación, pruebas, arranques, balanceo de aire, supervisión técnica y viáticos). Una vez definidos dichos elementos, se registraron en una hoja de cálculo estructurada en columnas que incluyen:

- Partida o código de referencia.
- Descripción técnica del concepto, con el mayor nivel de detalle posible.
- Unidad de medida correspondiente (pieza, metro cuadrado, kilogramo, lote, etc.).
- Cantidad requerida, de acuerdo con los cálculos y planos desarrollados.

Bajo este procedimiento, cada concepto se estableció de forma clara, lo que permitió dar trazabilidad al origen de la información y a la justificación de su inclusión en el proyecto.

Cabe señalar que, por motivos de confidencialidad, en este informe únicamente se presenta la estructura metodológica del catálogo, omitiendo los valores económicos asociados a cada partida.

Este documento no solo cumplió una función presupuestal, sino que también constituyó una herramienta de control técnico-administrativo. En etapas posteriores, como la ingeniería de detalle, permite adelgazar cantidades y validar especificaciones con mayor precisión; mientras que, durante la ejecución del proyecto, sirve como base documental para el control de avances, estimaciones de obra y comprobación de entregables.

Las secciones en las que se divide el catálogo son las siguientes:

- Sistema HVAC: Incluyó la unidad manejadora de aire con su configuración en dos niveles, ventilador de extracción, compuertas de control de volumen, conexiones y accesorios, rejillas, difusores, kilogramos de lámina para ductería, aislamiento, sistema eléctrico, unión MABAG, soportería y selladores, entre otros.
- Sistema de refrigeración: Consideró la unidad de expansión directa y todos los elementos asociados para su instalación, tales como tuberías, conexiones, válvula de expansión y termostato.
- Sistema de calefacción: Comprende la unidad generadora de agua caliente y los componentes necesarios para el sistema hidrónico: tubería cédula 40, bomba centrífuga, tanque de expansión, accesorios, aislamiento y soportería.
- Sistema de humidificación: Integra el humidificador resistivo modulante, la tubería de interconexión para la descarga de vapor limpio, la alimentación eléctrica, el sistema de reposición de agua y la base para intemperie.
- Sistema de control automático: Incluye el tablero de control con PLC, HMI, interruptores, variador de frecuencia, así como la instrumentación y los servicios de programación y puesta en marcha.
- Sistema de fuerza: Corresponde a la alimentación eléctrica desde la fuente disponible hasta cada uno de los equipos del sistema.
- Personal Eolis para el cumplimiento normativo en obra: Englobó todas las actividades de: instalación, control, monitoreo eléctrico, pruebas, arranques y balanceos, llevadas a cabo por personal especializado en campo.
- Personal de Eolis para el cumplimiento normativo dispuesto en oficina: Disposición de ingeniero de proyecto y un dibujante, elaboración de ingeniería de detalle, levantamientos en campo, especificaciones técnicas, asistencia a juntas, asuntos administrativos, etc.

6.3.2 Elaboración de la Carta de Presupuesto

El apartado de *Precios y condiciones de venta* vinculado a la carta de presupuesto tuvo como propósito establecer clara y formalmente, los lineamientos bajo los cuales se desarrollará el proyecto en caso de ser aprobado por el cliente. En este bloque se especifica el costo total del proyecto, el cual integró todos los equipos, materiales y servicios descritos previamente en el catálogo de conceptos. Asimismo, se señaló la validez de la propuesta, la cual se limita a un periodo definido debido a que los precios de insumos, materiales y equipos están sujetos a cambios en el mercado.

Otro aspecto fundamental es la definición de los plazos de entrega, que contemplaron tanto el tiempo de suministro de los equipos, como el período de instalación y puesta en marcha. Al mismo tiempo se detallaron las condiciones de pago, generalmente estructuradas en un esquema de anticipo, pagos parciales contra avance de obra y liquidación final a la entrega del proyecto.

Este apartado también incluyó las garantías ofrecidas, tanto de parte del proveedor como de los fabricantes de equipos, acción que asegura al cliente la calidad y confiabilidad de la instalación. Aunado a ello, se establecieron los alcances y limitaciones de la oferta, las condiciones en que la garantía puede o no ser válida, así como los servicios adicionales que pueden ofrecerse, como contratos de mantenimiento o refacciones.

La incorporación de esta sección es esencial porque no solo define los compromisos económicos, sino que también constituye el marco contractual y legal que protege a ambas partes. Al cliente le brinda certeza y confianza sobre lo que está adquiriendo, y a la empresa proveedora le garantiza que existen reglas claras respecto a tiempos, costos y responsabilidades en la ejecución del proyecto.

6.3.3 Elaboración de la Portada Presupuestal

A la par de la elaboración del catálogo también es posible realizar la portada de este presupuesto formal, la cual se elaboró de manera personalizada con base en la información del cliente. El diseño de esta portada fue uno de mis aportes a la empresa y este tuvo por objetivo ofrecer al cliente un atractivo visual y un mensaje de presentación del proyecto convincente, haciéndole sentir que el proyecto fue elaborado cuidadosamente y con un seguimiento adecuado a sus necesidades. La idea de una portada atractiva es mostrar al cliente que puede tener confiabilidad en que la elaboración de su proyecto y la propuesta económica se está llevando a cabo con los más altos estándares de calidad, enfocado en ofrecerle un sistema rentable e innovador.

6.4. Envío de oferta técnica del Sistema HVAC

Como procedimiento final, el documento se integró en tres secciones dentro de un solo archivo. En primer lugar, se colocó la portada, seguida del apartado de precios y condiciones de venta (el cual debía ir debidamente firmado tanto por el jefe de desarrollo comercial como por el ingeniero proyectista), que en este caso fui yo. Finalmente, se anexó el catálogo de conceptos.

Este documento integral se envió al cliente mediante un correo electrónico formal, en el cual se agradece su paciencia y se enfatiza que la oferta ha sido diseñada con el propósito de resultar atractiva y viable para su disponibilidad económica. Posteriormente, se espera la respuesta del cliente; en caso de aceptación, se procede con la emisión de la orden de compra, lo que da luz verde al inicio al proyecto.

Una vez autorizada, la propuesta se transfiere al departamento de ingeniería, encargado de dar seguimiento, realizar los ajustes necesarios y ejecutar las actividades conforme al presupuesto previamente aprobado, procurando en todo momento apegarse a las condiciones estipuladas en la oferta inicial.

EOLIS
We make >>
the air
your process
needs.

AENOR
GESTIÓN
DE LA CALIDAD
ISO 9001

Ciudad de México a 23 de julio de 2025

LOGO EMPRESA DE EMPAQUE FARMACÉUTICO

C. Morelos 51
Cuajimalpa
05010 Cuajimalpa de Morelos, Ciudad de México.

PRESUPUESTO No. P24FARMA3717

At'n.: **Ing. Luis Porfirio**

Agradecemos la confianza depositada en nosotros y nos complace presentarle una propuesta diseñada especialmente para su proyecto.

Con base en los comentarios y requerimientos recibidos, presentamos nuestra propuesta por el nuevo sistema HVAC para el Área de Blister (UMA-Blister), localizada al interior del área de acondicionamiento y empacado farmacéutico de ***Empresa* de *empaque farmacéutico***, ubicada en Cuajimalpa de Morelos, Ciudad de México.

Cada decisión técnica fue cuidadosamente evaluada para ofrecer una solución integral, segura y duradera, plenamente alineada con las condiciones operativas y de eficiencia requeridas para cada espacio, asegurando así el óptimo funcionamiento del sistema HVAC.

La presente oferta ha sido elaborada con base en la información que usted tuvo a bien proporcionarnos los días 1ro y 3 de julio del presente año.

Al final de este documento se incluye el "Catálogo de Conceptos", con el desglose de costos unitarios y totales correspondientes a materiales, equipos y mano de obra, elaborado específicamente para este proyecto conforme a los lineamientos establecidos.

Eolis América Latina, S.A.P.I. de C.V.
Uxmal 380, Col. Narvarte
03020, Ciudad de México
Tel. 55 3640 1400
www.eolis.com.mx

Figura 66: Portada presupuestal

EOLIS

Empresa de empaque farmacéutico
HVAC ÁREA BLISTER
ÁREA: BLISTEADO
Presupuesto No. P25FARMA3717

PRECIOS Y CONDICIONES DE VENTA.

1. PRECIO.

El precio total de las partidas que integra nuestro catálogo de conceptos es por la cantidad de:

$

El precio total antes mencionado, se verá afectado por el Impuesto al Valor Agregado (IVA), no incluye ninguna retención o pago de impuestos adicional de carácter local, estatal o municipal y que, en caso de existir, se cobrarán de forma adicional al precio total.

El importe total es referido a una oferta no divisible.

El precio total anterior se entiende para equipos y materiales puestos en la planta de Embalajes localizada en Cuajimalpa de Morelos, Ciudad de México, incluyendo la instalación, arranque y ajustes.

2. VALIDEZ DE NUESTRO PRESUPUESTO.

Nuestra oferta contiene un componente importante de acero, el cual está sujeto a condiciones de mercado fuera de nuestro control.

La validez de nuestra oferta es de 30 días a partir de su fecha de emisión.

3. PLAZO DE ENTREGA.

- De 16 a 18 semanas para entrega de equipos, este tiempo correrá una vez recibido el anticipo correspondiente más IVA.
- De 8 semanas para la instalación y puesta en marcha de los sistemas.

4. CONDICIONES DE PAGO.

Figura 67: Documento "Precios y condiciones de venta"

EOLIS

CATALOGO DE CONCEPTOS

CLIENTE : Empresa de empaque farmacéutico
OBRA : Sistema HVAC
LUGAR : Cuajimalpa CDMX
ÁREA : Blister

ELABORÓ / VEND.: SMA
FECHA : 23/07/2025
PRESUPUESTO : P25FARMA3717

Partida	Concepto	Cantidad	Unidad	P. U. MXN	Importe MXN
	1.- SISTEMA HVAC ÁREA BLISTER				
1.01	**Unidad Manejadora de Aire (UMA-01) construida en 2 niveles, para instalarse a la intemperie,** marca **Eolis** modelo **EOS**, tamaño **EOS-8.5**, arreglo horizontal, **con protección para intemperie en la parte superior en lamina pintro Cal. 22**, aplicación farmacéutica a prueba de hermeticidad, construida a base de paneles de lamina galvanizada Cal. 24 (en ambas caras) pintada en color blanco RAL 9010 de doble pared, con aislante de espuma rígida de poliisocianurato (PIR) expandido de alta densidad (40 kg/m³) de **50 mm.** de espesor, cumpliendo con la norma y certificación Factory Mutual FM 4880 (Estándar de aprobación para clasificación de reacción al fuego clase I) y FM 4881 (estándar de aprobación para sistemas de uso exterior Clase I), con base metálica galvanizada de **72 mm.** de altura; compuesta por las siguientes secciones:				
	SEGUNDO NIVEL				
	Sección de mezcla de aire (KEM), equipada con una puerta de servicio de 38mm. de espesor pintada en color blanco y dos compuertas (aire exterior y aire retorno) que permiten el ajuste del aire de exterior, las compuertas son de construcción sólida con aletas individuales en aluminio y de accionamiento opuesto, bujes de plástico antifricción, con mecanismo completo de movimiento individual y palanca para accionamiento manual.				
	Sección de filtros de aire (PAD/FEL), equipada con **02 filtros planos de 610 x 610 x 50mm. nominales,** marca modelo **Filter Panels con clasificación ePM10** 50% de acuerdo a la norma **ISO 16890** equivalente a la clasificación **M5** con eficiencia **40-60% EN779** y **02 filtros rígidos de cartucho de 610 x 610 x 300 mm. nominales,** marca modelo , clasificación **ePM1 80%** de acuerdo con la norma **ISO 16890** equivalente a la clasificación **F9** con eficiencia **>95% EN779,** método opasimétrico; arreglo para el cambio por el lado sucio, la sección con base compacta para el soporte hermético de los filtros, los elementos son fijados cada uno con 4 grapas de retención para facilitar el cambio de los filtros, incluye filtros y **2 indicadores de presión diferencial** marca modelo serie con escala métrica.				

Figura 68: Documento "Catálogo de conceptos" para el proyecto

7 Resultados y aplicación profesional

7.1 Aplicación de conocimientos técnicos

Durante mi estancia en Eolis, pude aplicar de manera directa los conocimientos técnicos adquiridos durante mi formación como ingeniero mecánico, consolidándolos a través del desarrollo de proyectos de ingeniería conceptual y básica enfocados en la industria farmacéutica. Trabajé continuamente con temas fundamentales en esta industria, cómo lo es psicrometría, análisis de cargas térmicas, selección de sistemas de refrigeración, diseño de ductería, distribución mediante difusores y rejillas de extracción, así como con sistemas hidrónicos de enfriamiento y calefacción.

El uso de normativas nacionales e internacionales relativas a la correcta fabricación de medicamentos fue indispensable para asegurar que las soluciones propuestas cumplieran con los estándares exigidos por el sector. Estos conocimientos se reflejaron en la elaboración y revisión de cálculos técnicos que garantizaron la pertinencia, confiabilidad y cumplimiento regulatorio de cada propuesta. Gracias a ello, consolidé mi desarrollo ingenieril de manera clara, fundamentada y alineada a las necesidades específicas de cada área crítica a acondicionar.

7.2 Relación con proveedores y análisis de costos

Una parte trascendental de mis actividades consistió en la interacción con proveedores especializados en la venta y distribución de equipos HVAC. Realicé solicitudes de cotización basadas en los requerimientos de cada proyecto, analizando a profundidad especificaciones técnicas, costos, tiempos de entrega, garantías y alcances incluidos. Este trabajo fortaleció mi criterio para realizar comparaciones técnico–económicas que permitieran seleccionar equipos eficientes, rentables y adecuados a entornos altamente exigentes en la industria farmacéutica.

Como aportación destacada, actualicé la base de datos interna del área, incorporando información actualizada sobre costos de equipos y materiales, agilizando así la elaboración de presupuestos y mejorando la precisión de las propuestas. Los beneficios a la compañía a partir de estas acciones se vieron reflejadas mediante la disminución de al menos 2 semanas de tiempo para obtener costos de productos generales que podían obtenerse de forma más directa mediante el acceso al sistema interno.

En este, se alojan muchos registros de cotizaciones salvadas anteriormente, que sirven como referencia para marcar una pauta en los precios de muchos de los equipos y accesorios utilizados de manera general.

Algo muy común es que los tratos con proveedores lleguen a demorar días e incluso semanas para definir precios de lista, especialmente cuando las negociaciones se realizan de manera individual para cada producto o servicio, lo que vuelve el proceso repetitivo, poco eficiente y dependiente de múltiples ciclos de validación.

Sumado a estas acciones, diseñé una versión renovada de la carta de presupuesto, más clara y persuasiva, que contribuyó a mejorar la comunicación con los clientes y a proyectar una imagen más profesional y confiable.

7.3 Diagnóstico en sitio y adecuación de soluciones

Las visitas en sitio representaron una de las experiencias más valiosas que adquirí durante esta gran etapa. Tuve la oportunidad de recorrer instalaciones farmacéuticas, reconocer espacios y dimensiones, identificar zonas viables para instalación de equipos y comprender a detalle los procesos internos de los clientes. Esta interacción directa con espacios en escenarios reales me permitió ajustar y perfeccionar las propuestas técnicas para garantizar que fueran ejecutables, seguras y adecuadas a las condiciones físicas de cada proyecto.

7.4 Trabajo colaborativo e integración de áreas

Mi labor requirió comunicación constante con otras áreas como Ingeniería (la cual está totalmente relacionada con el proceso postventa, cómo compras, supervisión de obra, etc.), Instrumentación y control, Dibujo y con el departamento interno, lo que me permitió comprender la naturaleza multidisciplinaria de los proyectos HVAC.

La integración de información entre departamentos fue esencial para asegurar la correcta ejecución de las propuestas, y esta interacción fortaleció mi capacidad para trabajar en equipo y explicar criterios técnicos de manera clara.

Colaboré también en el análisis de requerimientos de clientes, integración de alcances, preparación de documentación técnica y revisión interna de ofertas, participando activamente en la construcción de soluciones que conjugaban viabilidad técnica, cumplimiento normativo y eficiencia económica.

7.5 Aportaciones personales destacadas

A lo largo del desarrollo de mis actividades, identifiqué oportunidades de mejora que derivaron en aportaciones concretas al área de ingeniería, entre las que destacan:

- Actualización de la base de datos del área, incorporando información de costos de equipos y materiales, dando paso a agilizar la estimación presupuestal.

- Diseño de una versión innovadora de la carta de presupuesto, con un enfoque más claro y persuasivo hacia el cliente, que contribuyó a generar un acercamiento más confiable y personalizado.
- Participación en el proyecto “Garantía de calidad”, adjudicado a la empresa por una compañía farmacéutica en Celaya, Guanajuato, mediante la cuantificación de la longitud de tuberías y accesorios definidos en la ingeniería básica para los sistemas de agua de climatización.
- Contribución en la búsqueda y propuesta de un proveedor de equipo de lavado de gases (scrubber) para el acondicionamiento de un laboratorio fisicoquímico de una compañía farmacéutica, garantizando el desalojo seguro de olores y vapores de ácidos y solventes, además de establecer una relación comercial que permitiría implementar este equipo en futuros proyectos.
- Participación en el desarrollo y envío de ofertas presupuestales (laboratorio de investigación, zona de impresión en aluminio, sistemas de ventilación para agua purificada, cuarto de compresores y cuarto eléctrico, entre otros). Bajo la supervisión de mi jefe directo, llevé a cabo individualmente la elaboración de ofertas para el acondicionamiento de áreas críticas como la de blisteado y empaque de medicamentos, así como de áreas de almacenamiento de tanques, bombas y área de utensilios.

7.6 Validación e impacto profesional

La validación continua de mis cálculos, propuestas y análisis por parte de mis superiores permitió confirmar la factibilidad técnica y económica de las soluciones desarrolladas. Esta retroalimentación constante representó un proceso formativo clave que fortaleció mi confianza profesional y mi capacidad para responder a los estándares de un entorno altamente regulado como el farmacéutico.

Trabajar en proyectos reales, con clientes exigentes y requerimientos específicos, me permitió consolidar un perfil profesional sólido dentro del área HVAC. La experiencia adquirida evidenció mi capacidad para aplicar conocimientos ingenieriles en escenarios realistas, la toma de decisiones fundamentadas, trabajo en equipo y contribución a proyectos con impacto directo en una industria fundamental en el mundo actual.

En conjunto, estos resultados reflejan la integración efectiva de conocimientos teóricos y habilidades técnicas adquiridas durante mi formación profesional. La aplicación práctica en un entorno regulado y altamente especializado me permitió fortalecer competencias clave en diseño HVAC, análisis normativo, gestión de costos y colaboración interdisciplinaria.

Cada una de las actividades desarrolladas contribuyó no solo a la consolidación de propuestas viables y técnicamente justificadas, sino también al fortalecimiento de mi criterio

profesional. Esta experiencia representó una etapa formativa determinante, en la que confirmé la pertinencia de mi perfil como ingeniero para enfrentar los desafíos reales de la industria farmacéutica, desde una perspectiva técnica, regulatoria y estratégica.

8 Conclusiones

Eolis es una empresa filial de Grupo COMSA en México, la cual es líder en brindar soluciones reales, funcionales y duraderas a espacios de producción y sistemas críticos más demandantes dentro de sus tres industrias. Desde mi experiencia, esta empresa, con casi 60 años de trayectoria, presta atención a los detalles de principio a fin en la elaboración y ejecución de proyectos. Esto le ha permitido participar en una gran cantidad de licitaciones y, hoy, ejecutar 1,400 proyectos a nivel nacional e internacional. Su confiabilidad la hace única y le ha ganado el respaldo de los clientes más exigentes, ya que cumple con las normativas específicas de cada industria y entrega los proyectos en tiempo y forma. Contar con una planta de producción propia que pueda fabricar la gran mayoría de los equipos imprescindibles para un sistema HVAC, representa un valor agregado al momento de decidir contratar a la empresa, pues brinda al cliente la confianza de que los productos son elaborados en territorio nacional y además se les permite visitar sus instalaciones, generando seguridad y la posibilidad de observar de primera mano la calidad realizada por la línea de producción.

Decidí integrarme a esta empresa porque me llamó la atención asumir nuevos retos en mi carrera profesional y deseaba involucrarme en actividades directamente relacionadas con la carrera en la que me formé y el área en la que me especialicé. Al conocer la propuesta de Eolis, tuve la certeza de que era una excelente oportunidad para continuar desarrollándome, adquirir nuevos conocimientos y enfrentar desafíos que pusieran a prueba las habilidades adquiridas durante mi formación profesional.

Durante mi estancia como becario en Eolis, los principales retos que enfrenté fueron diversos. En primera instancia, adaptarme a un ambiente completamente nuevo a nivel personal, ya que fue la primera vez que laboré en un entorno real en el que se me notificó que iba a participar en proyectos completos para algunas de las compañías dedicadas a la producción de medicamentos con mayor poder adquisitivo del mercado y con una fuerte competencia nacional. Además, dichos proyectos manejaban una gran cantidad de capital, por esta razón era imprescindible una participación adecuada en la elaboración de estos.

La transición de proyectos escolares a un entorno profesional fue un reto que asumí con éxito, gracias a que mi facilidad me hizo adaptarme a nuevos entornos y equipos multidisciplinarios, aspectos que fueron clave para superar esta etapa.

Otro gran reto surgió al involucrarme en la elaboración de la ingeniería conceptual de distintos proyectos. Si bien los conocimientos teóricos adquiridos en la carrera, junto con las

capacitaciones brindadas por el personal de la empresa, fueron fundamentales para comprender el método correcto de trabajo, el verdadero desafío fue trasladar la teoría a la práctica. En sitio muchos elementos que parecían claros, en planos solían cambiar considerablemente.

La inclusión y revisión de planos puede ser una guía útil, pero para mi experiencia, también fue necesario realizar visitas directas para contemplar cada detalle del diseño arquitectónico o civil, aspectos que resultan indispensables al tomar decisiones en el momento de ejecutar un proyecto, ya que cualquier elemento adicional que no estaba contemplado puede provocar errores de dimensionamiento, uso excesivo o insuficiente de materiales, o decisiones que impacten negativamente en la economía, así como en la competitividad de la licitación. Inicialmente procuré imaginar las edificaciones y los detalles, pero fue necesario realizar inspecciones en sitio y levantamientos precisos para obtener información valiosa que pudiera ser aplicada efectivamente en la elaboración de los proyectos.

Otro desafío importante para mi formación profesional fue involucrarme en otras disciplinas, como la automatización y la eléctrica, ya que un sistema HVAC contemporáneo depende de un buen sistema de control, complementado con su parte eléctrica, y resulta fundamental entender cómo estas disciplinas se relacionan con el rendimiento global del sistema.

Asimismo, fue necesario adquirir conocimientos sobre costos y la elaboración de catálogos de conceptos, para lo que fue aplicada directamente la planificación financiera a la ingeniería, evaluando precios unitarios, cantidades de materiales y costos de instalación, incentivando a desarrollar propuestas ajustadas a la realidad del mercado y garantizar la viabilidad de los proyectos.

A pesar de que mi puesto era de aprendiz, mi estancia en la empresa no pasó desapercibida, ya que algunos de mis aportes y la entrega de propuestas presupuestales contribuyeron a mejoras concretas que considero, serán de utilidad en la futura elaboración de proyectos.

Entre ellos, destaca la actualización del diseño de la portada de la carta presupuestal, ya que al iniciar mi participación, considero que la presentación era anticuada y no cumplía plenamente con la función de generar un acercamiento genuino con el cliente.

Identifiqué esta área de oportunidad y propuse un nuevo diseño que fue implementado en algunos proyectos importantes, incluyendo un proyecto ganado por la empresa tras una licitación considerada la más grande, debido a la magnitud de la infraestructura, el monto de la venta, la empresa solicitante y los alcances del proyecto.

Respecto a este último proyecto mencionado, también participé en actividades de ingeniería de detalle para la cuantificación del sistema hidrónico de enfriamiento y calefacción en dicho proyecto, estableciendo la longitud exacta de tubería y los accesorios necesarios para

garantizar un correcto recorrido hidráulico y un funcionamiento eficiente de los sistemas de calefacción y enfriamiento.

También tuve la oportunidad de colaborar en la elaboración de proyectos y en la gestión directa con proveedores de equipos HVAC, actividades que me permitieron fortalecer la relación con ellos y asegurar la disponibilidad de productos para futuras implementaciones.

Mi aprendizaje como ingeniero se vio reforzado al aplicar un enfoque metodológico en situaciones reales, existiendo factores como la inversión de capital, la coordinación de distintas disciplinas y la necesidad de cumplir estrictamente con normas y estándares de calidad, combinados para lograr proyectos exitosos. Con esta experiencia aprendí a anticipar problemas, tomar decisiones informadas y entender que la ingeniería requiere no solo conocimiento técnico, sino también criterio, adaptabilidad y responsabilidad en cada etapa de un proyecto.

Mi periodo en la empresa, desarrollándome en el puesto ya mencionado, me permitió adquirir nuevos conocimientos, fortalecer los ya desarrollados y aplicarlos en proyectos desafiantes que contribuyeron a la correcta fabricación de productos farmacéuticos y biotecnológicos en empresas líderes del sector, garantizando el cumplimiento de los lineamientos establecidos y fomentando la eficiencia y competitividad en el mercado.

Esta experiencia consolidó mi desarrollo profesional, reforzó mi confianza y me preparó para enfrentar futuros retos con un enfoque integral, proactivo y responsable, comprendiendo la importancia de la calidad, la planificación y la atención al detalle en todos los proyectos en los que participé.

Comprendí que una solución no solo implica aplicar conocimientos, sino también la capacidad de anticiparse, adaptarse y resolver situaciones complejas en un entorno real, lo cual es y seguirá siendo determinante en mi crecimiento profesional y en los desafíos que enfrente en el futuro.

9 Bibliografía

AMERIC, A.C. (1983). *NAM-001-AA-83 y NAM-002-AA-83 PARA CUANTIFICACIÓN DE LÁMINA Y AISLAMIENTO PARA CONDUCTOS DE AIRE RECTANGULARES.* Ciudad de México: Asociación Mexicana de Empresas del Ramo de Instalaciones para la Construcción (AMERIC A.C.).

ÇENGEL, Y. A., BOLES, M., & KANOĞLU, M. (2019). *TERMODINÁMICA.* Ciudad de México: McGRAW-Hill Interamericana.

Eolis América Latina. (2025). *Eolis*. Obtenido de Cuartos limpios, llave en mano: https://eolis.com.mx/

Luwa. (2000). *UNIDAD CENTRAL MODULAR DE TRATAMIENTO DE AIRE LUWAIR P.* Ciudad de México: LWP.

Rodríguez, A. R. (2020). *Farma NOM 059, ISO* . Ciudad de México: Handbook interno de Eolis.

Secretaría de Salud. (2015). *NOM-059-SSA1-2015: Buenas prácticas de fabricación de medicamentos.* México: Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de salud. (2020). SISTEMA DE VENTILACIÓN. Suplemento 13.2. En *Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos* (págs. 77-92). Ciudad de México: Comisión Permanente de la FEUM.

Word Press. (s.f.). *Capítulo 13 Psicrometría* . Obtenido de https://avdiaz.wordpress.com/wp-content/uploads/2009/01/i-unidad3.pdf

10 Anexos

21. Apéndice A Normativo. Áreas de fabricación.

Clasificación	Ejemplos de procesos*a*	Número máximo permitido de partículas*h* totales/m3:			Partículas viables*b*		Presión diferencial y flujo de aire	Cambios de aire por hora*i*	Temperatura y humedad	Vestimenta
		Condiciones estáticas*g*/ dinámicas		Frecuencia de monitoreo	(UFC)	Frecuencia de monitoreo				
		= 0.5 m	= 5 m							
Clase A (ISO-Clase 5)	Llenado aséptico. Operaciones asépticas. Muestreo, pesado y surtido de insumos estériles.	3 520 / 3 520	20 / 20	CONTINUO/ Durante todo el proceso de llenado	< 1/placa*b.1* < 1/ m3 *b.2* < 1/placa*b.3* < 1/guante*b.4*	CONTINUO/ Durante todo el tiempo que dure el proceso de llenado	≥15 Pa con respecto a cuartos adyacentes, aplicando un concepto de cascada*c*	n.a.	18°C a 25°C 30 a 65% HR*f*	Overol, escafandra, gogles cubrezapatos y guantes, estériles para área aséptica.
Clase B	Entorno de Clase A para productos estériles que no llevan esterilización terminal. Esclusas a cuartos de llenado. Cuartos vestidores para áreas Clase A	3 520 / 352 000	29 / 2 900	c/ 3 mesese	< 5/placa*b.1* < 10/m3 *b.2* < 5/placa*b.3* < 5/guante*b.4*	Diaria/Turno de producción	≥15 Pa con respecto a áreas no asépticas, aplicando un concepto de cascada	20 a 50	18°C a 25°C 30 a 65% HR	Igual que en ISO-Clase 5
Clase C (ISO-Clase 7)	Llenado de productos con esterilización terminal. Preparación de soluciones para filtración esterilizante, para esterilización terminal y elementos del sistema de contenedor-cierree Almacenamiento de accesorios para formas farmacéuticas estériles.	352 000 / 3 520 000	2 900 / 29 000	c/ 6 meses a excepción de llenado de soluciones con esterilización terminal que se realice c/3 meses*d*	< 50/placa*b.1* < 100/m3 *b.2* < 25/placa*b.3* -	Semanalmente	>10 Pa	20 a 50	18°C a 25°C 30 a 65% HR	Uniforme de planta limpio; cabello, vello facial y corporal cubierto, cubrebocas y guantes
Clase D (ISO-Clase 8)	Entorno de Clase C Cuartos de aisladores. Cuartos incubadores y de refrigeración (localizadas en áreas de producción). Preparación y envasado primario de formas farmacéuticas no estériles. Muestreo, pesado y surtido de insumos no estériles.	3 520 000 / n.a.	29 000 / n.a.	c/ 6 meses	< 100/placa*b.1* < 200/m3 *b.2* < 50/placa*b.3* -	Mensualmente	>5 Pa Presión negativa donde se generan polvos con respecto a los cuartos adyacentes y positiva con respecto a donde no se generan polvos	10 a 20	18°C a 25°C 30 a 65% HR	Uniforme de planta limpio; cabello, vello facial y corporal cubierto, cubrebocas y guantes
ISO-Clase 9	Acondicionamiento secundario.	35 200 000 / n.a.	293 000 / n.a.	Anualmente	n.a.	Anualmente	Presión positiva con respecto a áreas no clasificadas.	n.a.	18°C a 25°C	Uniforme de planta limpio; cabello cubierto.

a Los ejemplos aquí señalados son enunciativos mas no limitativos.

b El monitoreo microbiológico debe efectuarse empleando los siguientes métodos:

b.1 Placa de sedimentación de 90 mm de diámetro, con exposición no menor a 30 minutos y no mayor a 4 horas.

b.2 Muestreo de aire.

b.3 Placa de contacto 55 mm de diámetro.

b.4 Muestreo de Guantes en 5 dedos.

c La zona de flujo unidireccional debe cumplir con parámetro de velocidad de flujo 0.45 m/s ± 20%.

d Puede realizarse con menor frecuencia de acuerdo al mantenimiento del estado validado.

e Podrá ser realizado al menos en Clase D siempre y cuando se soporten con estudios de validación.

f Los cuartos clasificación Clase A deben cumplir con estos parámetros, no aplica para módulos de flujo unidireccional.

g Los límites de partículas dadas en la tabla para condición estática pueden alcanzarse después de un corto periodo de limpieza de 15 a 20 minutos después de concluir la operación y sin operarios.

h Los tamaños de muestra tomados con propósitos de monitoreo están dados en función del sistema de muestreo usado y no necesariamente el volumen de la muestra de monitoreo será la misma que la cantidad de aire tomada durante la clasificación formal del cuarto.

i Este parámetro puede ser un indicador del adecuado diseño del sistema, por tanto si no existe cumplimiento al rango establecido en la tabla, debe investigarse y efectuarse la justificación técnica que evidencie que no existen fallas inherentes al diseño de las áreas.

Figura 69: Apéndice A Normativo. Áreas de fabricación, representado con un código de colores interno (Secretaría de Salud, 2015)

PROYECTO HVAC BLISTEADO

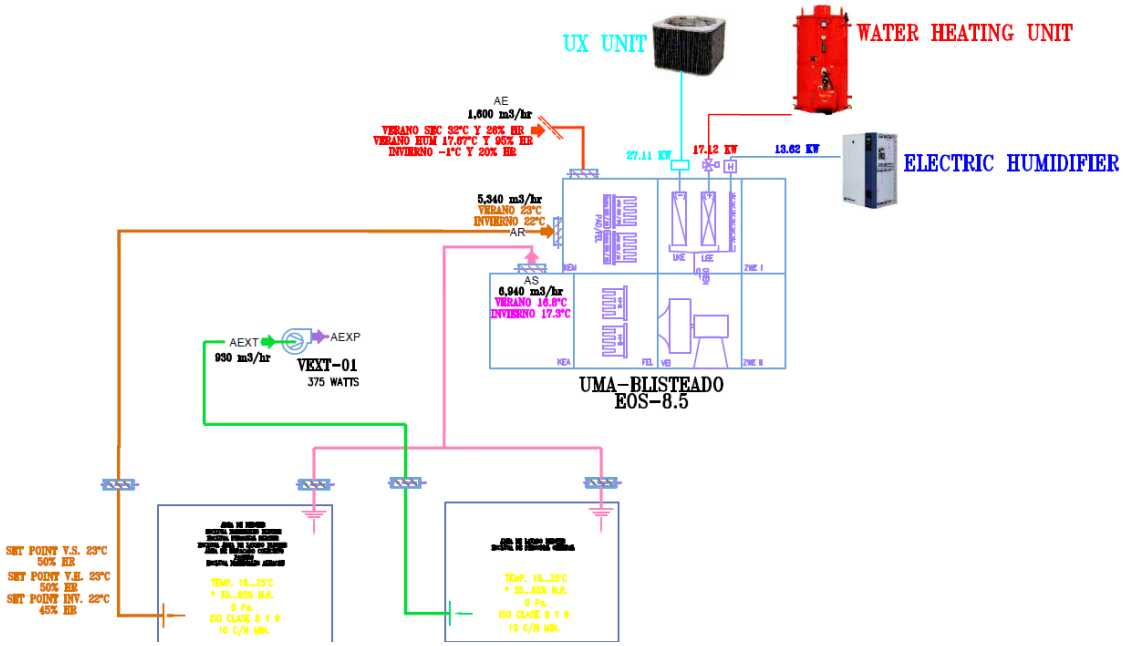


Figura 70: Diagrama unifilar del sistema completo