

ACADEMIA JOURNALS



OPUS PRO SCIENTIA ET STUDIUM

Humanidades, Ciencia, Tecnología e Innovación en Puebla

ISSN 2644-0903 online

Vol. 4. No. 1, 2022

www.academiajournals.com

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN AUSPICIADO POR EL
CONVENIO CONCYTEP-ACADEMIA JOURNALS



Gobierno de Puebla

Hacer historia. Hacer futuro.



Secretaría
de Educación
Gobierno de Puebla

CONCYTEP
Consejo de Ciencia
y Tecnología del Estado
de Puebla

Daniela Macías Hermosillo

Criterios de diseño sustentable para el confort interior en un proyecto de vivienda vertical

Universidad de las Américas Puebla

Director de Tesis: Dra. Doris Abigail Chi Pool

Presidente de Tesis: Dr. Arq. Edwin González Meza

Secretario de Tesis: Mtra. Claudia Bonilla López

Tesis
Daniela Macías Hermosillo

Criterios de diseño sustentable para el confort interior en un proyecto de vivienda vertical.



Escuela de Artes y Humanidades
Departamento de Arquitectura y Arquitectura de Interiores



Criterios de diseño sustentable para el confort interior en un
proyecto de vivienda vertical.

Tesis que, para completar los requisitos del Programa de Honores presenta la
estudiante

Daniela Macías Hermosillo

ID 159187

Arquitectura de Interiores

Directora de Tesis: Dra. Doris Abigail Chi Pool

San Andrés Cholula, Puebla.

Otoño 2021

Hoja de firmas

Tesis que, para completar los requisitos del Programa de Honores presenta la
estudiante **Daniela Macías Hermosillo 159187**

Director de Tesis

Dra. Doris Abigail Chi Pool

Presidente de Tesis

Dr. Arq. Edwin González Meza

Secretario de Tesis

Mtra. Claudia Bonilla López

r e s u m e n .

Criterios de diseño sustentable para el confort interior en un proyecto de vivienda vertical.

Por: Daniela Macías Hermosillo

El constante crecimiento de la población demanda una mayor cantidad de vivienda, y esto a su vez, provoca un crecimiento desordenado de las ciudades. Este desorden urbano ha ocasionado un importante deterioro en el medio ambiente y en el bienestar de sus habitantes. Por esto, el implementar estrategias de diseño sustentable y contemplar los niveles de confort requeridos para el espacio interior en una vivienda, son puntos indispensables para crear ciudades saludables para el óptimo desarrollo de sus habitantes.

La vivienda vertical propone albergar a la población en un contexto céntrico con traslados más cortos y permitiendo la conservación de más áreas verdes, contribuyendo así, a la densificación de las ciudades. Además, incluir en el proceso de diseño el estudio de las condiciones ambientales por medio de softwares de simulación nos permite crear propuestas arquitectónicas con un máximo aprovechamiento de los medios naturales en ambientes exteriores e interiores.

En este proyecto de tesis se desarrolla una propuesta de vivienda vertical mediante pautas de diseño sustentable y de confort interior con la finalidad de brindar un espacio habitable para el sector más joven y creciente de la población dentro de un contexto urbano.

índice.

1 INTRODUCCIÓN	7
2 JUSTIFICACIÓN	9
3 OBJETIVOS	11
4 MARCO TEÓRICO	12
4.1 La Vivienda	14
4.1.1 Vivienda Vertical	15
4.2 Problemáticas actuales	16
4.2.1 Situación actual de la vivienda en México	16
4.2.2 Expansión Urbana	18
4.3 Clima	20
4.3.1 Parámetros Climáticos	20
4.3.2 Arquitectura bioclimática	24
4.4 Confort	27
1.4.1 Confort Térmico	29
1.4.2 Confort Lumínico	29
1.4.3 Confort Acústico	33
1.4.4 Confort Olfativo	34
4.4.5 Confort Psicológico	35
4.5 Programas de simulación computacionales	35
4.5.1 Rhinoceros	35
4.5.2 Grasshopper	37
4.5.3 DIVA	37
4.5.4 ClimateStudio	38
4.6 Simulación del desempeño ambiental	39
4.6.1 Simulación de asoleamiento	39
4.6.2 Simulación de iluminación natural	40
5 CASOS ANÁLOGOS	41
5.1 Townhouses Hipódromo	42
5.2 Edificio Ámsterdam	44
5.3 Vivienda Portales	46

5.4 Apartamentos Rebollar	48
6 CASO DE ESTUDIO	40
6.1 Análisis de asoleamiento	51
6.2 Análisis de iluminación natural	54
7 PROYECTO ARQUITECTÓNICO	62
7.1 Descripción y generalidades	63
7.2 Perfil del usuario	63
7.3 Programa arquitectónico	64
7.4 Sitio	66
7.4.1 Análisis del terreno	67
7.4.2 Análisis climático	70
7.5 Pautas de diseño pasivo para clima templado, Puebla, México.	77
7.6 Anteproyecto	78
6.6.1 Conceptualización	78
6.6.2 Zonificación	80
6.6.3 Partido arquitectónico	82
1.6.4 Criterios de diseño sustentable aplicados al partido arquitectónico	83
7.7 Proyecto arquitectónico	88
6.7.1 Propuesta de proyecto final	88
6.7.2 Simulación de iluminación natural	93
7.8 Diseño de Interiores	99
6.8.1 Intenciones de diseño interior	99
6.8.2 Moodboard de materiales	101
6.8.3 Propuesta final de diseño interior	102
7.9 Planos arquitectónicos	103
ARQ-01	104
ARQ-02	105
ARQ-03	106
ARQ-04	107
ARQ-05	108

ARQ-06	109
ARQ-07	110
ARQ-08	111
ARQ-09	112
7.10 Planos de detalles	113
CAR-01	114
CAR-02	115
CAR-03	116
ALB-01	117
7.11 Renders	118
8 CONCLUSIONES	130
REFERENCIAS	132

En los últimos años, la mayor parte de la población mundial se ha concentrado en las ciudades y se prevé que este porcentaje aumente considerablemente en un futuro cercano. El crecimiento acelerado de la población ocasiona un aumento en la demanda de la vivienda que, a su vez, conduce a una expansión desordenada de las ciudades. Esto propicia un total incumplimiento de las necesidades cualitativas de una vivienda digna, lo cual, repercute directamente en la vida de los ocupantes. La principal problemática del sector vivienda en México y en Latinoamérica es la calidad y no la cantidad de viviendas.

La vivienda vertical pretende brindar un máximo aprovechamiento del suelo y disminuir esta creciente expansión albergando a la población en un contexto urbano céntrico y accesible para el sano desarrollo mutuo de la ciudad y sus habitantes. Sin embargo, el factor más afectado por este fenómeno de expansión en las ciudades es el medio ambiente. Por ello, es indispensable que la arquitectura actual incorpore estrategias sustentables en todas las etapas de diseño para lograr un correcto aprovechamiento de las condiciones climáticas, los recursos naturales y lograr un menor impacto al medio ambiente. Para esto, es necesario el estudio y entendimiento de los parámetros climáticos de cada sitio. Además, se deben cuidar las sensaciones de confort interior que serán generadas preferentemente por medios naturales. En la actualidad existen programas de simulación computacional que nos permiten evaluar estas condiciones de forma práctica y precisa desde las primeras etapas del diseño.

Para este proyecto de tesis se desarrolla un proyecto de vivienda vertical en Cholula, Puebla, dirigida para usuarios jóvenes. El proceso de diseño atiende a las estrategias de diseño sustentable y de confort lumínico y térmico en el interior. Para esto, se implementaron softwares de simulación de desempeño ambiental que permiten visualizar y evaluar el diseño de la propuesta arquitectónica.

En esta tesis se propone un proyecto de vivienda vertical dirigido a usuarios jóvenes e inmerso en un contexto urbano donde ellos son una parte importante para el desarrollo económico y social de las ciudades. Mediante pautas de diseño sustentable y de confort interior, se pretende otorgar un espacio habitable para este sector creciente de la población, que se desarrolle de manera amigable e integrada con el entorno natural. La finalidad es beneficiar la vida de los ocupantes, el desarrollo del contexto urbano y la conservación del medio ambiente. La aplicación de reglas de oro de la arquitectura y la implementación de herramientas de simulación computacional son elementos clave para el desarrollo de este proyecto. Particularmente, se utilizan programas de análisis del rendimiento lumínico y se evalúa su repercusión en el confort interior del edificio arquitectónico. Este proyecto se constituye como un primer modelo en el ámbito de las tesis de licenciatura de la UDLAP; en este sentido, la finalidad es dar a conocer los métodos y herramientas digitales, que hoy son posibles de aplicar en otras propuestas arquitectónicas. En el contexto actual del cambio climático, el uso de estas herramientas y programas adquiere cada vez mayor relevancia, por lo que es necesario que los egresados de la licenciatura contemos con las bases para su uso y para la evaluación de los resultados.

El objetivo principal de esta tesis es desarrollar un proyecto de vivienda vertical que responda a las necesidades actuales de transformación de las ciudades sustentables. En el desarrollo del proyecto:

- Se contemplan aspectos de confort térmico y lumínico en el interior de las edificaciones, principalmente por medios naturales que favorecen una relación estrecha entre los ocupantes y el medio ambiente.
- Se propone la implementación de programas de simulación computacional del desempeño ambiental con la finalidad de profundizar en el análisis de las soluciones de estos aspectos, que en muchas ocasiones se resuelven de forma intuitiva o se pasan por alto.
- Se propone una solución arquitectónica que satisface las necesidades del usuario y la calidad del ambiente interior, en términos de la provisión de la luz natural, reducción del deslumbramiento y pérdida del confort visual, así como también sus repercusiones en el confort térmico interior. Se contrastan estos resultados con los requerimientos de certificaciones energéticas como LEED V.4 y se evalúa su cumplimiento.

4

marco teórico.

4.1 La Vivienda

Actualmente, las ciudades se componen en función de diversos modelos de desarrollos, pero principalmente habitacionales. “La vivienda es la unidad desde la cual se genera la habitabilidad y la posibilidad de desarrollo sostenible de las ciudades, y está directamente relacionada con la salud urbana” (Perez, 2021). Por ello, la vivienda debe ser interpretada desde todas sus escalas posibles, pues ejerce un impacto coexistente tanto en la vida personal de sus ocupantes como en su contexto urbano.

La vivienda puede ser definida como el espacio físico que aloja a una o más personas y que tiene la función de posibilitar el correcto desarrollo de los ocupantes en cumplimiento de sus necesidades, salud y confort. Este espacio, se desarrolla dentro de un determinado contexto físico, social, cultural, económico, político y tecnológico. Por lo que una vivienda adecuadamente diseñada, debe atender tanto a las propiedades generales del contexto como a las características y expectativas específicas de los ocupantes.

La construcción de viviendas contribuyen en gran medida a la actividad económica por medio del empleo y de los insumos que intervienen. Además, posibilita mejorar la calidad de vida de los habitantes y es un elemento fundamental para la formación del patrimonio de las familias. Por otro lado, la construcción de viviendas es uno de los principales factores del crecimiento de las ciudades de una forma desordenada, pues propicia una mayor urbanización, mayores desplazamientos para los habitantes y poca conservación de las áreas verdes.

Las dimensiones de la vivienda tiene una relación con el precio del suelo que a su vez tiene relación con la demanda del mismo. En las ciudades mayormente pobladas y edificadas, el precio del suelo es mayor y, por lo tanto, las dimensiones de las viviendas son más reducidas en comparación de una vivienda del mismo precio en una ciudad más pequeña. Sin embargo, a diferencia de hace algunos años, la dimensión de la vivienda ya no es un aspecto prioritario para los usuarios. Esto se debe a que actualmente intervienen otros factores como la ubicación, las condiciones de seguridad y la posibilidad de acceder a una mejor calidad de vida.

4.1.1 Vivienda Vertical

Debido a las problemáticas actuales en el desarrollo de las ciudades, como lo son el aumento en el costo de la tierra, el crecimiento de los asentamientos urbanos, la escasez de espacios libres para la construcción y la falta de eficacia por parte de las instituciones locales de planeación urbana, han dado lugar al desarrollo de las viviendas verticales. Los conjuntos verticales proponen una manera más sustentable de satisfacer las necesidades habitables del ser humano atendiendo a estas principales problemáticas urbanistas y aquellos aspectos materiales, psicológicos, sociales y económicos específicos de cada uno de los usuarios.

La habitación colectiva de la modernidad es un legado de las discusiones de los Congresos Internacionales de Arquitectura Moderna –CIAM– en torno a la vivienda y al desarrollo de las ciudades a partir de la habitación concebida como su célula básica. Esas contribuciones, que proponían soluciones desde la arquitectura y el urbanismo a las problemáticas urbanas del momento, quedaron plasmadas en la Carta de Atenas de 1933. (Gómez-Porter, 2021)

La Carta de Atenas de 1933 trata principalmente los temas de la urbanística moderna y en ella se sugería agrupar a las viviendas en torres con la finalidad de aprovechar los metros cuadrados disponibles y desarrollar áreas verdes, comercios, equipamiento colectivo, zonas deportivas y centros de enseñanza para los habitantes. Esto con la finalidad de evitar largos desplazamientos dentro de las ciudades para acceder a este tipo de servicios. Estas viviendas debían garantizar el aprovechamiento de la luz y ventilación natural para generar espacios interiores sanos, limpios, ventilados y transparentes que a su vez ayudaran a prevenir la propagación de enfermedades. “Estos preceptos de diseño fueron preconizados por Le Corbusier en todo el mundo y materializados en la célebre unidad de Marsella...inscrita en 2016...en la Lista del Patrimonio Mundial como contribución excepcional al Movimiento Moderno” (Gómez-Porter, 2021).

El concepto de la vivienda vertical es empleado hasta el día de hoy debido a que contribuye en gran medida a la densificación de las ciudades, la cual, se refiere a la propuesta promovida por el gobierno de distintos países y varios organismos internacionales para

frenar y transformar el crecimiento desordenado de las ciudades al promover una expansión vertical del contexto urbano con la finalidad de concentrar a la población en un mismo territorio central. Vivir en el núcleo de una ciudad en lugar de la periferia, representa una disminución en los gastos de transporte y el tiempo que las personas necesitan para transportarse de un lugar a otro. Además, al comprender menos metros cuadrados para albergar a una mayor cantidad de personas, la vivienda vertical ayuda a disminuir el daño al medio ambiente respetando una gran cantidad de áreas verdes.

Sin embargo, es importante considerar que este modelo de vivienda en grandes escalas podría desatender el propósito de brindar habitabilidad a sus usuarios al tener problemas en la dimensión de su gestión y en la coexistencia entre los propios habitantes. La correcta implementación de la vivienda vertical implica también diseñar espacios multifuncionales y de dimensiones suficientes con la finalidad de educar al usuario para habitar viviendas mínimas en cumplimiento de sus necesidades y, a su vez, favorecer el desarrollo de las ciudades y la conservación del entorno natural.

4.2 Problemáticas actuales

4.2.1 Situación actual de la vivienda en México

En México, la vivienda se constituye como un derecho en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, por lo que se han desarrollado mercados de financiamiento y construcción con la finalidad de satisfacer el rezago habitacional.

En 1972 se implementaron el INFONAVIT y el FOVISSSTE en el país, instituciones que otorgan créditos para la mejora, construcción o adquisición de una vivienda. Así, se declaró el derecho de los mexicanos a contar con una vivienda digna. En 2002, se creó la Sociedad Hipotecaria Federal que financia a los desarrolladores de vivienda y otorga créditos hipotecarios a las familias para sus viviendas. En 2008, se desarrolló el Mercado de Bursatilización de Hipotecas (BORHIS, CEDEVIS y TFOVIS) para que los bancos, INFONAVIT y FOVISSSTE pudieran empaquetar sus hipotecas, descargarlas de sus balances y que los inversionistas institucionales pudieran adquirir bonos respaldados por esas hipotecas. En

2006, el Gobierno crea la Comisión Nacional de Vivienda, la cuál otorga subsidios a las familias de bajos ingresos para obtener un financiamiento a la vivienda.

En 2019, la Comisión Nacional de Vivienda (Conavi) registró un total de 13,376 subsidios a través de la Vertiente Vivienda en Ámbito Urbano del Programa de Mejoramiento Urbano, con una inversión total de 1,189.8 millones de pesos. Del total de subsidios otorgados, 5,630 (42%) fueron destinados a ampliación de vivienda, 4,545 (34%) a mejoramiento de vivienda, 3,177 (24%) a vivienda nueva y 24 a adquisición de vivienda usada, acciones que atienden principalmente el desdoblamiento familiar y la sustitución de viviendas, por condiciones inadecuadas (*Informe de labores Desarrollo Territorial, 2020*).

Económicamente, el sector de la vivienda en México representa el 14,9% del PBI nacional y emplea a más de 3 millones de personas. En 2000, las familias en rezago habitacional en México representaban el 42% del total de hogares y para el 2017 un 28.4%. Sin embargo, la construcción de la vivienda se ha transformado de ser una empresa social e instrumento del Estado que ve por el bienestar de sus habitantes, a ser una empresa comercial que busca implementar prototipos construibles en la mayor cantidad posible. Esto ha dado lugar al crecimiento excesivo del sector vivienda en México y, a su vez, ha provocado una expansión urbana repentina.

Esta expansión repentina y simultánea de programas nacionales muestra que, a pesar de los diferentes contextos políticos, institucionales, demográficos y económicos, las políticas de vivienda han producido el mismo tipo de urbanización en las periferias de las ciudades con barrios homogéneos, de baja calidad y aislados de los centros y fuentes de trabajo. (Vera & Adler, 2018).

El derecho a la vivienda para los ciudadanos no estaría cumplido con el simple hecho de otorgarles una, pues es fundamental que en ella se garantice el cumplimiento de la habitabilidad presente y también futura para sus ocupantes. Algunos indicadores para evaluar la habitabilidad y la salud en la vivienda son: la funcionalidad de acuerdo con las necesidades de sus ocupantes respondiendo a sus variadas cantidades y cualidades culturales, la seguridad constructiva mediante la identificación de problemas estructurales y la adaptabilidad climática mediante mediciones de asoleamiento, ventilación y temperatura.

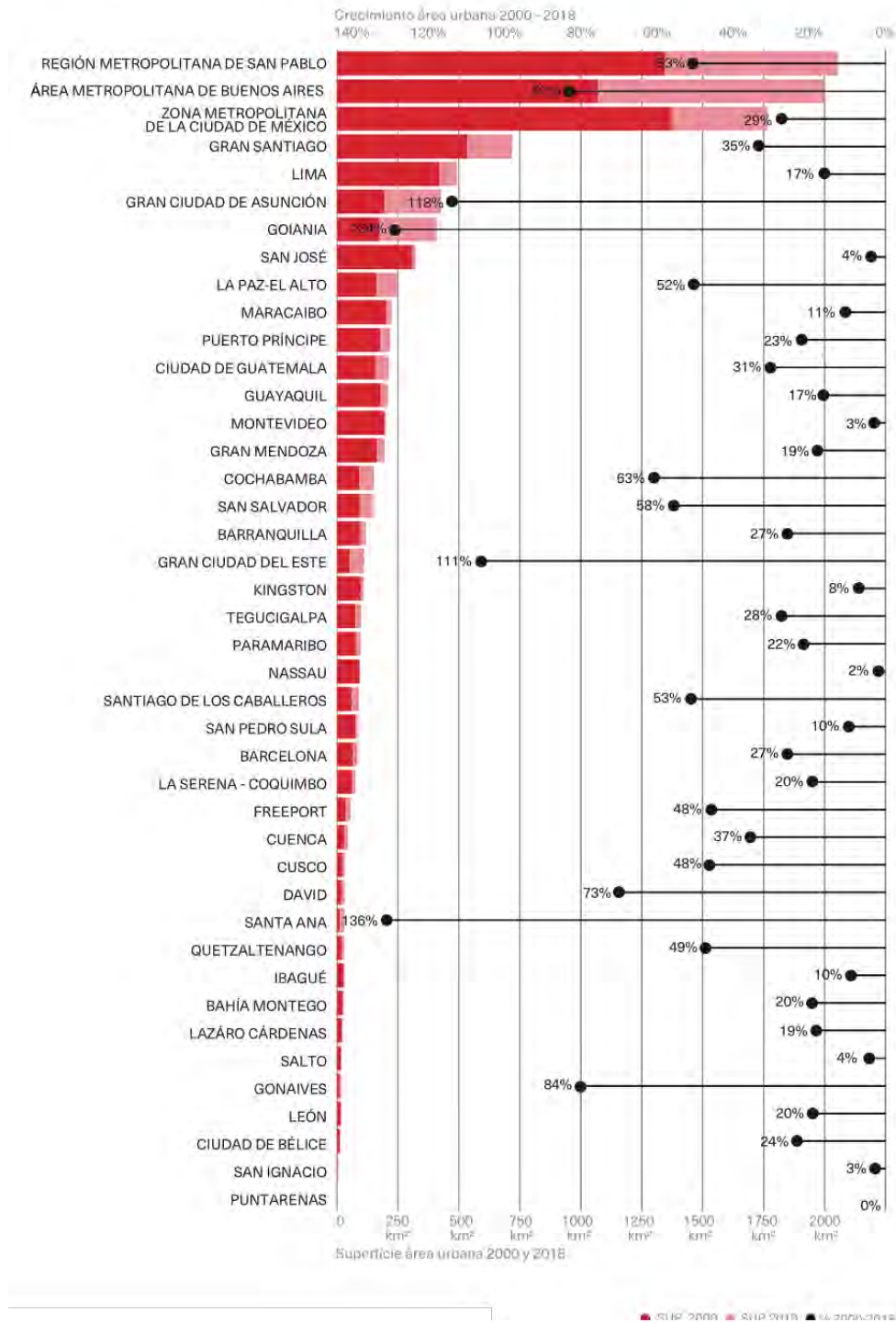
El crecimiento en el número de viviendas es más rápido que el aumento de la población en prácticamente todas las naciones. Por ello es importante constatar que la principal problemática del sector vivienda en México y en Latinoamérica no es la cantidad sino la calidad de la vivienda. “En América Latina, el déficit cuantitativo solo representa el 6% del déficit total en áreas urbanas. Mientras el déficit cualitativo agregado representa el 94% del déficit total...” (Vera & Adler, 2018). Esto se debe a que estos programas de provisión de vivienda están centrados en satisfacer el déficit cuantitativo. La idea de atender de forma paralela ambas problemáticas, implica comenzar a pensar en la vivienda como un elemento fundamental para el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes y también del tejido urbano para construir ciudades sostenibles y democráticas.

4.2.2 Expansión Urbana

En la actualidad, el mundo se ha cubierto de grandes ciudades que albergan cada vez a más habitantes. Para el 2010, más de la mitad de la población mundial habitaba en ciudades y se contempla que este porcentaje aumente a un 70% o más para el 2050. Además, se estima un aumento en la población mundial de 3.5 billones en el 2010 a 6.2 billones en el 2050, crecimiento que se prevé será reflejado principalmente en los países actualmente menos desarrollados. Los espacios dentro de la ciudad son cada vez más demandados, la mayoría de la población busca establecerse dentro de las áreas urbanas centrales y la calidad de vida se ha visto afectada por la invasión de edificaciones y la falta de entornos naturales.

La expansión urbana es el término utilizado para describir este fenómeno que implica la expansión de las poblaciones humanas fuera de los territorios urbanos centrales hacia los límites de la ciudad en contacto con las zonas rurales, esta yuxtaposición entre lo rural y lo urbano, se ha denominado periurbanización. Esta creciente expansión, ha impactado de manera importante en lo social y lo económico, pero principalmente en el ambiente. Aunque las ciudades del mundo ocupan solo el 3% de la tierra, representan entre el 60% y el 80% del consumo de energía y el 75% de las emisiones de carbono. Desde 2016, el 90% de los habitantes de las ciudades respiraba aire que no cumplía las normas de seguridad establecidas por la Organización Mundial de la Salud, lo que provocó un total de 4,2 millones

de muertes debido a la contaminación atmosférica. En el caso específico de México, los recursos naturales han sufrido drásticas transformaciones como consecuencia de las acciones degradadoras que el ser humano ha provocado, como la extracción de minerales, la contaminación y el crecimiento urbano acelerado.



Gráfica 1. Superficie urbana en 2000 y 2018, en km² y porcentaje de crecimiento. Fuente: CIT, 2018

A diferencia de países europeos, la urbanización de América Latina se ha dado a tasas mayores, más desordenada, no inducida necesariamente por una mayor productividad o concentración de actividades en áreas urbanas y con poca capacidad institucional de los gobiernos –sobre todo locales– para responder a los desafíos de una planificación y articulación que permitiera acceso a servicios urbanos universales y adecuados de manera equitativa. (Vera & Adler, 2018)

Entre todo este desorden urbano mundial está involucrada la vivienda, entre un contexto de servicios, infraestructura y equipamiento donde un aumento cada vez mayor de la población implica una mayor demanda de espacios habitacionales. A lo que ha surgido el desmonte masivo para la construcción de mega desarrollos habitacionales que han causado una extensión de las ciudades a un ritmo preocupantemente acelerado. Además, los usuarios no optan por hacer casas más pequeñas o ubicarlas en lugares con poco impacto ambiental, y muy pocas veces invierten en hacer casas más eficientes.

De acuerdo a esto, debemos ocuparnos por frenar este fenómeno de expansión urbana fomentando la construcción y el diseño sustentables que favorezcan el buen crecimiento y desarrollo de nuestras ciudades. “En la División de Vivienda y Desarrollo Urbano del Banco Interamericano de Desarrollo, consideramos que unos de los mayores desafíos de la región en los próximos años será atender de manera eficiente a una creciente necesidad de provisión de vivienda”(Vera & Adler, 2018). Atendiendo a esta necesidad, en la Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, se aprobó una agenda de retos para 2030: los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Ésta propone erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible a través de 17 objetivos planteados. En el punto número 11, los países firmantes se comprometen a trabajar para lograr ciudades y asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

4.3 Clima

4.3.1 Parámetros Climáticos

En el diseño arquitectónico, influyen muchos aspectos y uno de los más importantes son los parámetros climáticos del sitio. El entendimiento de nuestro entorno es el punto de partida para lograr una adecuada integración con el medio ambiente y así generar edificaciones y ciudades sostenibles. Para esto, es necesario profundizar en el estudio del clima, entendiendo su funcionamiento de acuerdo con la ubicación respecto a las coordenadas geográficas: latitud, longitud y altitud.

La latitud se refiere a la distancia angular que hay desde un punto específico en la superficie de la tierra hasta el ecuador y se mide en grados, minutos y segundos. Para ubicar la latitud de un lugar se utilizan los paralelos, que son las líneas imaginarias que se trazan a partir del ecuador, cuyo valor es 0° , y se miden en dirección hacia los polos hasta los 90° al Norte y 90° hacia el Sur. La longitud se mide por medio de los meridianos y refiere a la distancia angular que hay con respecto al meridiano de Greenwich; puede ser oriente u occidente y se mide en grados, minutos y segundos. Para ubicar con mayor precisión el sitio, es necesario también la altitud, coordenada geográfica que mide en metros sobre el nivel del mar la distancia vertical que existe respecto al nivel medio del mar y la parte más alta de un punto.



Imagen 1. Mapa del mundo, Latitud. Fuente: INEGI.

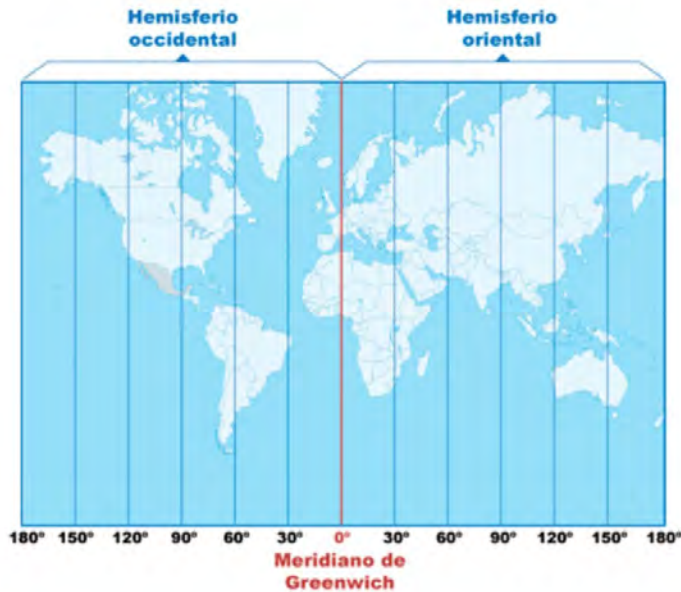


Imagen 2. Mapa del Mundo, Longitud. Fuente: INEGI.

Entre más cercano sea un punto al ecuador, habrá menos variación en la duración de los días y el recorrido solar será más vertical. Este recorrido, a medida que se aleja del ecuador, es diferente. En latitudes norte, las superficies orientadas al sur captan una mayor carga de radiación solar y en las latitudes sur, ocurre a la inversa. Por ello, en los trópicos, las superficies orientadas al oriente y occidente adquieren gran importancia como herramienta de diseño con el sol.

Los movimientos de la tierra que determinan el clima y tiempo son la rotación, la cual determina el día y la noche, y la traslación, la cuál marca el lapso de un año. Sin embargo, el desvío axial determina las estaciones del año y a medida que se aleja del ecuador las estaciones se hacen más evidentes. Los solsticios y los equinoccios son los encargados de señalar el cambio de las estaciones en la Tierra. Un solsticio sucede cuando el sol se encuentra más cerca o más lejos de uno de los hemisferios terrestres y, debido a esto, aumenta la duración del día en una parte determinada del planeta, mientras que disminuye la duración en la otra. El equinoccio se produce cuando el sol se encuentra sobre la línea del ecuador y que la tierra está mas cerca al sol, por lo que el día y la noche tienen la misma duración en ambos hemisferios.

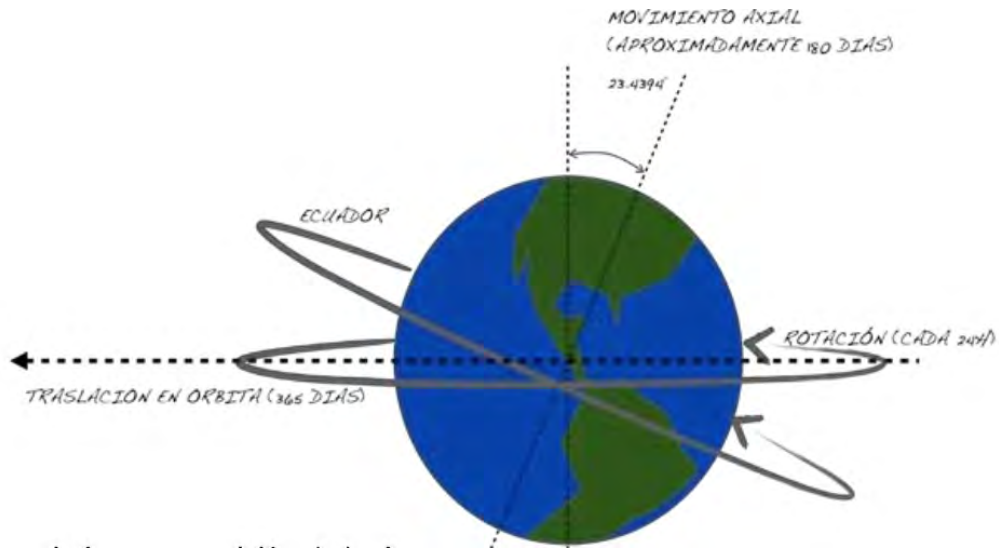


Imagen 3. Movimientos y posición de la tierra. Fuente: EL CLIMA Y PRINCIPIOS DE DISEÑO ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA EN LOS ANDES TROPICALES, PABLO GONZÁLEZ ROZO, 2010.

“Los principales factores dependientes del clima en que se emplaza un edificio y que afectan el bienestar de los ocupantes son la temperatura, humedad, radiación solar, vientos, nubosidad y pluviometría. A estos factores dependientes se les llama parámetros climáticos.” (CITEC UBB, 2012)

Temperatura

La temperatura se refiere a la cantidad de energía calorífica en el aire determinando la sensación de frío o calor y se mide comúnmente en grados Celsius (°C).

Humedad

La humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua presente en el aire y se mide en g/m^3 . La humedad relativa es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y la máxima cantidad de vapor de agua que puede contener a una determinada temperatura. Cuanto mayor es la temperatura del aire, más cantidad de vapor de agua disuelto admite.

Radiación Solar.

La cantidad de radiación solar va a depender de los valores del azimut y la altitud del sol respecto del cenit, los cuáles, nos hablan de la inclinación con que llega a la superficie de la tierra y del ángulo en que se encuentra el sol respecto del norte.

Viento

El viento es el movimiento del aire en la atmósfera y puede ser medido respecto a su velocidad y dirección en el plano horizontal. La velocidad de los vientos dominantes normalmente crece con la altitud debido a la reducción de la fricción con el suelo, sin embargo, "...muchos otros factores de orden local pueden alterar estas tendencias generales. La topografía origina grandes contrastes; algunas áreas quedan protegidas del viento, mientras que en otras soplan fuertes ráfagas de una velocidad mucho mayor que el promedio." (González, 2010).

Nubosidad

La nubosidad es la cantidad de días y la extensión de cielo cubierto por nubes. Sin embargo, este factor no es comunmente documentado en los informes climáticos, por lo que se recomienda la observación del cielo y consultar datos con los habitantes de la zona.

Precipitación

Se refiere a la caída de agua contenida en la atmósfera en forma de agua, nieve o de rocío. Esta se mide en litros por metro cuadrado o milímetros.

4.3.2 Arquitectura bioclimática

La arquitectura bioclimática es aquella que se enfoca en incorporar, en todas las etapas de diseño, estrategias que promuevan el aprovechamiento de las condiciones climáticas y de los recursos naturales disponibles, permitiendo así, generar mejores condiciones de confort interior y disminuir en lo posible el impacto medio ambiental generado por la construcción y el consumo energético. Esta optimización de recursos se logra principalmente por medio

de la morfología, la orientación, los materiales, la configuración, los colores y otras variables de diseño. Estos aspectos pueden ser clasificados de la siguiente manera: aspectos energéticos, calidad del ambiente interior e impacto al medio ambiente.

Los principios bioclimáticos deben aparecer como un hábito en la construcción y no como una rareza o una excepción. Por eso se debe hablar de buenas prácticas y de buena arquitectura y no de arquitectura singular. Estas buenas prácticas deben tener como objetivo la calidad del ambiente interior y la reducción de los efectos negativos sobre el entorno.(Neila, 2000)

Aspectos energéticos

Este punto sobre el consumo energético implica reducir costos económicos para los usuarios y también la contaminación vinculada a su producción. Lo anterior por medio de la captación de energía producida por medios naturales, su acumulación y correcto aprovechamiento.

Debido a que las energías naturales son cíclicas y se produce en mayor cantidad durante momentos puntuales y existe su ausencia total en otros, es importante que sea acumulada y permitir así su implementación durante tiempos prolongados. Además, es indispensable también tomar en cuenta la orientación más recomendable de los dispositivos de captación de energía para su mejor aprovechamiento. Para dispositivos de radiación solar se recomienda la orientación sur y para dispositivos de captación de viento la orientación más óptima es según la dirección de los vientos dominantes.

Adicional a esto, la estructura del edificio debe facilitar la ventilación e iluminación natural por medio de elementos básicos como: ventanas en fachadas opuestas para permitir la ventilación cruzada, orientadas principalmente al sur y al norte; implementar medidas de control solar para ventanas orientadas en las fachadas este y oeste.

Calidad del ambiente interior

La arquitectura bioclimática además de atender las condiciones del ambiente exterior, también contempla como una parte fundamental la calidad del ambiente interior, determinada por la temperatura, humedad, luz, ruido, olores, contaminantes químicos, salud personal y factores psicosociales. La contaminación de los ambientes interiores de los

edificios donde transcurre la mayor parte de nuestra vida es un factor determinante en la salud y bienestar de sus ocupantes.

Se debe procurar implementar materiales que no desprendan sustancias dañinas para la salud o molestias para los usuarios. Algunos materiales que suelen ser causantes de enfermedades como asma, respiración sibilante y alergias son los pisos y paredes de PVC, el linóleo nuevo, las alfombras sintéticas, el aglomerado y algunos acabados textiles que pueden generar ácaros.

Algunos de los contaminantes del aire se generan en el interior y muchos otros son infiltrados desde el exterior. “Entre los contaminantes del aire se pueden mencionar los compuestos orgánicos volátiles (VOC), semivolátiles (SVOC) y microbianos (MVOC), el material particulado, los óxidos de nitrógeno, el ozono, el dióxido de carbono, y los agentes biológicos como bacterias, virus, y esporas fúngicas.” (Schettler, 2006)

La humedad producida en los materiales interiores, principalmente sobre superficies frías, puede favorecer el crecimiento de moho, sobre todo sobre superficies que contengan sustancias orgánicas que puedan servir como fuente de nutrientes. Además, los sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado también son factores que pueden llegar a generar compuestos microbianos. Para evitar este problema se deben implementar ciertas medidas en el diseño de los edificios: una correcta ventilación natural, la captación solar en invierno para obtener ganancias solares y la protección frente al sol de verano para proteger del sobrecalentamiento.

Impacto al medio ambiente

La arquitectura también debe enfatizar la importancia de controlar los niveles de CO₂ emitidos para promover edificios no dañinos para el medio ambiente, pues la construcción es uno de los mayores generadores de emisiones de gases de efecto invernadero. Por tanto, una de las formas más eficaces de lograr este objetivo es por medio de la descarbonización de la arquitectura. Esta descarbonización incluye la reducción del carbono operativo, que es el aquél emitido durante la etapa de uso, y el carbono incorporado, el cual se emite durante todo el ciclo de vida de un edificio. Más concretamente, el carbono incorporado nos habla

de la suma del impacto de todas las emisiones de gases de efecto invernadero que implica un material durante su ciclo de vida, es decir, durante su extracción, fabricación, construcción, mantenimiento e incluso su eliminación. Por otro lado, el carbono operacional implica la cantidad de dióxido de carbono emitido durante las actividades de uso de un edificio como el consumo de electricidad, calefacción, refrigeración, etc. Esto significa que debemos tener en cuenta que un material puede producir una baja producción de carbono operativo pero un alto contenido de carbono incorporado, o lo contrario.

Asimismo, los edificios deben optimizar el uso del agua, implementar el uso de dispositivos interiores que faciliten el reciclado de basura, emplear materiales reciclables o reciclados en el proceso de construcción. Esto último para reducir la cantidad de materia prima nueva que se incorpora al proceso de recuperación y tratamiento.

1.4 Confort

Para que un espacio construido se considere habitable, debe satisfacer tanto aquellas necesidades funcionales, ergonómicas, estructurales y estéticas, como aquellas que permitan al individuo establecer una interrelación favorable con el medio que lo rodea. El hombre está en constante relación con el medio ambiente y éste determina nuestro comportamiento físico y psicológico. El medio ambiente está definido por interrelaciones físicas, biológicas y culturales, ya sean perceptibles o no, entre los seres vivos. El medio puede ser clasificado en tres grupos:

- Medio ambiente **natural**: aquel donde no interviene el ser humano.
- Medio ambiente **social**: aquel donde se desarrolla el ser humano.
- Medio ambiente **artificial**: aquel que es creado o modificado por el ser humano.

El confort en el ser humano es un estado de percepción espacial momentáneo que se relaciona con el bienestar y la comodidad del usuario. No existe un modelo único a seguir que contemple todas las causas del confort, aunque se han formulado diferentes bases que consideran los factores ambientales como temperatura, humedad relativa, temperatura

radiante; los factores personales como vestimenta y tasa metabólica; y otros factores como los psicológicos, fisiológicos y de adaptación. El confort es un fenómeno subjetivo, lo cual quiere decir que cada persona presenta una necesidad e interpretación única de confort en distintas situaciones de acuerdo con aspectos sociales, culturales, psicológicos, etc.

La ergonomía, por otro lado, busca optimizar el ambiente para generar confort, centrándose en el entendimiento de la relación entre el espacio y el ser humano sin tomar en cuenta las sensaciones. La diferencia entre ambos términos es que el confort incrementa el interés en las emociones que se generan a través de la interpretación del entorno.

El cuerpo humano tiene varias formas de interpretar el entorno que habita, pues se compone de una gran variedad de receptores sensibles encargados de enviar señales al sistema nervioso central cuando existen cambios internos y externos en el cuerpo. “Todos los receptores actúan como transductores, convirtiendo una forma de energía (por ejemplo, química, mecánica o electromagnética) en otra forma que se utiliza para comunicarse con el cerebro. Los receptores solo pueden estar activados o desactivados; no tienen amplitud ni escala de activación”(Innes, 2012). Estos receptores pueden actuar con mayor o menor frecuencia provocando estímulos fuertes o débiles, sin embargo, un receptor que produce un estímulo constante por un tiempo prolongado puede disminuir su intensidad y dar origen a lo que se conoce como adaptación. Cuando nos adaptamos a un estímulo en particular, solo nos damos cuenta de él nuevamente cuando hay un cambio.

Además, existen situaciones en las que los usuarios se exponen voluntariamente a entornos no confortables, comúnmente al realizar actividades exteriores. Siempre se busca mayor confort en el interior debido a las características y la amplia adaptabilidad que puede existir. “Si se acepta que la vida urbana nos ha llevado a vivir más del 80% de nuestro tiempo en espacios cerrados valdría la pena preguntarnos sobre la idea que se tiene de los ambientes interiores ideales, lo que se quiere, espera, exige y acepta como lugares de vida. Se quieren espacios más seguros, más limpios, más saludables y mejor climatizados.”(Marcos & Pulgarín, 2005)

Al entender los tipos y características del confort, se pueden relacionar directamente con el diseño de espacios, donde nos enfocamos en crear un entorno habitable pensando en un

usuario específico. Los tipos de confort que se consideraron importantes para asegurar la habitabilidad de los ocupantes dentro de un espacio interior son: confort térmico, confort lumínico, confort acústico, confort olfativo y confort psicológico.

1.4.1 Confort Térmico

El confort térmico es la relación de un individuo con las condiciones ambientales, como temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación solar, entre otros. Este fenómeno no sólo está relacionado con los elementos meteorológicos antes mencionados y su variabilidad en diferentes momentos del día y del año, sino que también se deben considerar las características físicas, la edad, la salud, las influencias sociales, culturales y psicológicas de los habitantes. Un espacio interior habitable debe proporcionar las condiciones adecuadas para que el cuerpo humano desarrolle funciones que le permitan mantener su equilibrio e interactuar adecuadamente con su entorno.

En temperaturas altas, mientras más elevada sea la humedad, la sensación térmica es más calurosa y genera una acumulación de calor para el cuerpo humano. En cambio, en temperaturas bajas, cuanto más elevada es la humedad, mayor será la sensación de frío. En ambos casos, el viento puede reducir la sensación térmica con respecto a la temperatura del aire. El movimiento del aire acelera la disminución del calor por evaporación y en temperaturas frías puede producir una temperatura aún menor, por ejemplo, en una temperatura de 21°C y el viento a 10 m/s, se producirá la misma sensación térmica que en una temperatura de 11°C con viento en calma.

1.4.2 Confort Lumínico

El confort lumínico se refiere a la percepción de la luz a través del sentido de la vista, la cuál nos permite generar diferentes sensaciones en el espacio. La luz es una forma de energía que nos permite ver lo que nos rodea y es parte fundamental de nuestra vida diaria, pues interviene en nuestros patrones de sueño y horas de trabajo. La luz visible es la porción del espectro electromagnético que los seres humanos podemos percibir (380-780 nm) y nos

permite ver los objetos. La visión comienza cuando la luz visible es reflejada desde los objetos hasta los ojos.

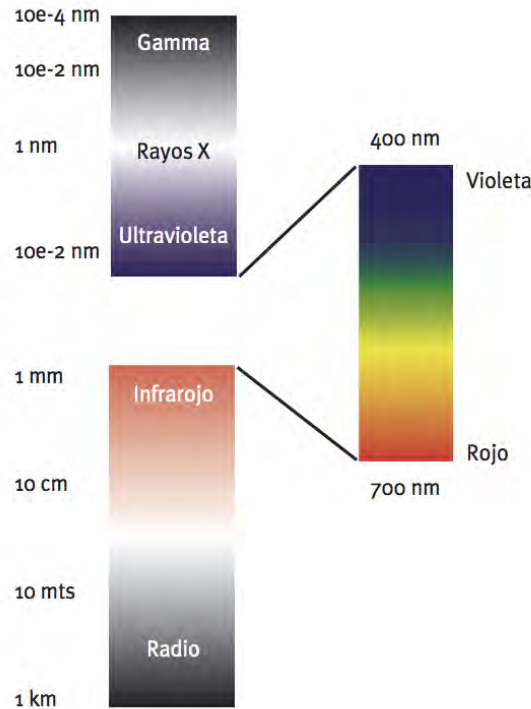


Imagen 4. Espectro de radiación electromagnética y espectro visible. Fuente: Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios, 2004.

El adecuado diseño de iluminación tiene un enorme poder para influir no sólo en la percepción visual, sino también en la experiencia emocional y física del entorno construido. “Es la luz la que hace que el mundo sea visible y la luz la que nos permite dar sentido a nuestro entorno. A pesar de esto, a menudo se subestima la importancia de la luz en la arquitectura” (Innes, 2012). A través de la arquitectura, se busca transmitir emociones y crear experiencias que impacten positivamente a los usuarios. Esto lo logramos principalmente por medio del sentido de la vista. Sin embargo, la luz tiene un importante impacto en la transformación de los espacios haciéndolos más o menos visibles, y esto puede influir mucho más que nuestra experiencia visual de las formas. La alteración de los patrones de luz, sombra y color puede hacer que los usuarios se sientan relajados o alertas, en un ambiente cálido y confortable o frío e inquieto. Siendo conscientes de que el manejo de la

luz es un elemento que altera en gran medida la interpretación de un espacio, no puede ser un elemento no planificado dentro del diseño para controlar las cualidades emocionales y de confort.

Por otro lado, durante la noche y durante días oscuros, la iluminación artificial debe ser capaz de aportar el nivel adecuado para la realización de la tarea visual. Sin embargo, debemos priorizar el aprovechamiento de la luz natural para un ahorro energético en los edificios y la creación de espacios de mejor calidad. La evolución ha equipado a los humanos física y mentalmente para la vida en un mundo con iluminación natural, la fuente de luz más accesible en nuestro planeta. El sistema visual humano y nuestra respuesta psicológica y fisiológica a la luz y el color están relacionados con la luz natural y sus cualidades.

La luz del sol ayuda a las personas a ser más productivas, felices y sanas. Esto se debe a que reduce la fatiga visual, genera serotonina y controla el ritmo circadiano. La luz natural, además de ser una fuente de iluminación, nos permite crear efectos y sensaciones dentro del espacio arquitectónico. Para poder hacer esto intencionalmente, necesitamos comprender los patrones y las cualidades de la luz natural.

La luz natural se presenta en tres condiciones distintas: la luz directa procedente del sol, la luz difusa del cielo y la luz indirecta por reflexión de los objetos del entorno. La luz natural presenta una disponibilidad y características diversas dependiendo de la latitud, meteorología, época del año y del momento del día. Una ventana orientada al norte admite poca radiación solar comparada con una orientada al sur, este u oeste (esto sucede en el hemisferio norte; mientras que lo contrario en el hemisferio sur). En la siguiente imagen se muestra una porción de un muro interior iluminado durante un horario matutino, del lado derecho de la imagen se aprecia una iluminación proveniente de una ventana orientada al este y del lado izquierdo se genera una iluminación desde una ventana orientada al norte. (Imagen 5)

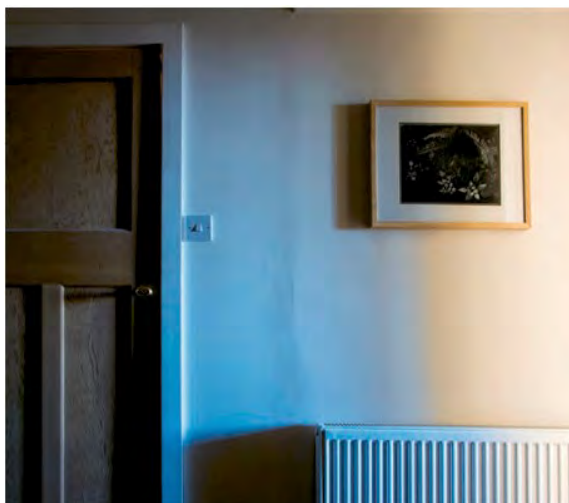


Imagen 5. Iluminación natural, orientación norte y este. Fuente: Lighting for Interior Design, 2012.

La selección de la abertura de penetración de la luz natural y su orientación son factores esenciales para el control de la calidad de iluminación; por ejemplo, un diseñador sabe que la luz norte, rica en azules procedente de la parte de cielo sin sol, está relacionada con la sensación de “frío”, por el hecho de que la temperatura de color es mayor que la del haz solar directo. (*Guía Técnica Aprovechamiento de la luz natural de edificios, 2004*)

Por ello, el diseño de la iluminación natural debe pensarse desde la etapa inicial en la distribución y orientación de los espacios antes de considerar en detalle las ventanas. De lo contrario, pueden surgir problemáticas como la falta de iluminación o, al contrario, el deslumbramiento. “El deslumbramiento es la sensación producida por áreas brillantes dentro del campo de visión, y puede ser experimentado bien como deslumbramiento molesto o como perturbador.” (*Guía Técnica Aprovechamiento de la luz natural de edificios, 2004*). Existen una gran variedad de sistemas para controlar la incidencia de la luz natural en el interior como lo son: elementos estáticos simples (como los voladizos, celosías, louvers, etc.) y elementos dinámicos (persianas, cortinas o acristalamientos regulables). Las soluciones más óptimas son los sistemas estáticos y, de ser necesario, se añaden elementos dinámicos en aquellos lugares en que lo requieran.

1.4.3 Confort Acústico

El confort acústico se refiere a la sensación de comodidad y bienestar de los ocupantes con respecto al entorno acústico, procurando minimizar el ruido no deseado que puede tener efectos fisiológicos o psicológicos en el usuario. Este tipo de confort se vincula a la comodidad de aquellas partes del cuerpo que puedan verse afectadas por los ruidos, como la audición, el sistema nervioso o los problemas articulares generados por el exceso de vibraciones. Sin embargo, la molestia acústica es algo subjetivo que depende de las características de la persona y la actividad que realiza. Lo que aporta un adecuado confort acústico es poder escuchar sonidos beneficiosos para crear un ambiente más productivo y sano.

Para esto, se debe diferenciar entre el aislamiento y el acondicionamiento acústico. El aislamiento acústico sirve para evitar la entrada de ruidos externos o de otras estancias. Por otra parte, el acondicionamiento acústico se utiliza para controlar la reverberación del sonido a través de elementos fonoabsorbentes como revestimientos acústicos, paneles, cabinas, mobiliarios o jardines verticales.

Hasta hace poco tiempo, el acondicionamiento acústico era un elemento de diseño empleado únicamente para auditorios, teatro, cines, etc. Sin embargo, en la actualidad es un aspecto indispensable en los espacios públicos y, más recientemente, en la vivienda. Esto se debe a que muchos espacios de trabajo y escolares se han trasladado a los hogares, espacios que no estaban adecuadamente adaptados acústicamente para la realización de dichas actividades. Para el confort acústico de la vivienda se implementa la utilización de materiales que favorezcan la eliminación del nivel de decibelios producidos por las fuentes de ruido que proceden del exterior y del interior de la propia vivienda. Estos materiales se suelen aplicar a las paredes y a las ventanas.

Una de las problemáticas de la acústica en los espacios interiores es la reverberación, la cual, se produce cuando las señales acústicas rebotan en superficies lisas como muros, techos o pisos. Esto provoca una confusión de sonidos que dificulta la comprensión. Para evitarla es aconsejable la utilización de materiales absorbentes tanto en la construcción como en el mobiliario y en los elementos de la decoración.

1.4.4 Confort Olfativo

El confort olfativo implica producir sensaciones psicológicas a través de olores agradables y evitar la contaminación ambiental que produce malos olores. El sentido del olfato es un criterio subjetivo, pues algunas personas suelen ser más sensibles a cierto olores que otras. El olor es causado por una serie de compuestos químicos volátiles que los humanos y los animales somos capaces de percibir mediante el sentido del olfato, sin embargo, existen otros receptores en nuestro cuerpo capaces de reaccionar ante ciertos olores.

Los humanos percibimos el aire con dos sentidos. El sentido del olfato está situado en la cavidad nasal y es sensible a varios cientos de miles de olores en el aire. El sentido químico general se encuentra en todas las membranas mucosas de la nariz y los ojos y es sensible a una cantidad igualmente grande de irritantes en el aire. Es la respuesta combinada de estos dos sentidos lo que determina si el aire se percibe como fresco y agradable o rancio, congestionado e irritante. (European Collaborative Action, 1992)

Los olores molestos pueden afectar el bienestar físico y psicológico e incluso causar irritación en los ojos, nariz y garganta, náuseas y dolores de cabeza. Estos olores pueden provenir del entorno exterior o interior. Las fuentes externas llegan a través de las aberturas y sistemas de renovación del aire, por lo que son más complicadas de controlar. Sin embargo, algunas estrategias que ayudan su disminución o eliminación son: la implementación de vegetación a los alrededores del edificio y una buena ventilación natural en los espacios interiores. La incorporación de vegetación aporta a la producción oxígeno, eliminan toxinas del aire y aportan valor estético a un espacio.

Por otro lado, las fuentes internas pueden ser causadas por los propios materiales implementados en la construcción o acabados, por el mobiliario, el sistema de alcantarillado, productos de limpieza o mantenimiento, reacciones químicas, productos en descomposición, etc. Para prevenir esto, es importante considerar las propiedades y características de los materiales que se implementarán en el interior para asegurarnos que

no sean propensos a desprender aromas desagradables o sustancias nocivas para los ocupantes.

4.4.5 Confort Psicológico

El confort psicológico es la percepción sensorial del cerebro resultante de la interacción entre la persona y un espacio físico. Los espacios que habitamos tienen una reacción positiva o negativa relevante en nuestro comportamiento. Cada uno de los elementos sensoriales de la arquitectura interactúan y generan estímulos para el usuario a través de los sentidos (tacto, vista, audición, olfato y gusto), generando sentimientos y experiencias. Estos impulsos sensoriales deben ser intencionales para provocar el comportamiento deseado en los ocupantes. Aunque todos los sentidos del ser humano influyen en la percepción del espacio, el sentido de la vista domina tanto nuestra comprensión de nuestro mundo como nuestras descripciones de este.

4.5 Programas de simulación computacionales

La simulación computacional de un objeto arquitectónico se realiza por medio de programas computacionales que analizan el desempeño ambiental de los edificios. Asimismo, nos permiten visualizar y evaluar resultados específicos (valores de iluminación natural, confort térmico, ventilación, entre otros) sobre nuestra propuesta arquitectónica, según las intenciones de diseño, el clima y el sitio de estudio. Estos resultados nos permiten anticipar si nuestro diseño responderá a los requerimientos planteados o, en su caso, nos permiten planear modificaciones y predecir cómo va a responder el edificio ante tales cambios y cuál será su porcentaje de efectividad. A continuación se mencionan los software implementados específicamente para los análisis realizados en esta investigación:

4.5.1 Rhinoceros

Rhinoceros es un software que surgió hace casi 20 años con el objetivo de ofrecer a los diseñadores navales herramientas para la creación de modelos informáticos que pudieran

utilizarse para manejar el equipo de fabricación que se controlaba digitalmente en los astilleros. En la actualidad, Rhino es uno de los software de modelado 3D más implementados para la arquitectura, el prototipado, la ingeniería, el diseño industrial, diseño gráfico, diseño naval y diseño automotriz.

Con Rhino se puede crear, editar, analizar, documentar, renderizar, animar y traducir curvas NURBS, superficies y sólidos, geometría de subdivisión (SubD), nubes de puntos y mallas poligonales. Este software permite crear diseños de cualquier tipo de complejidad, escala y forma. Rhino proporciona herramientas para configurar la precisión y las unidades, así como herramientas para controlar y calcular continuidades. Además, es compatible con una gran variedad de formatos de programas de diseño, dibujo, CAM, ingeniería, prototipado, análisis, renderizado, animación e ilustración.

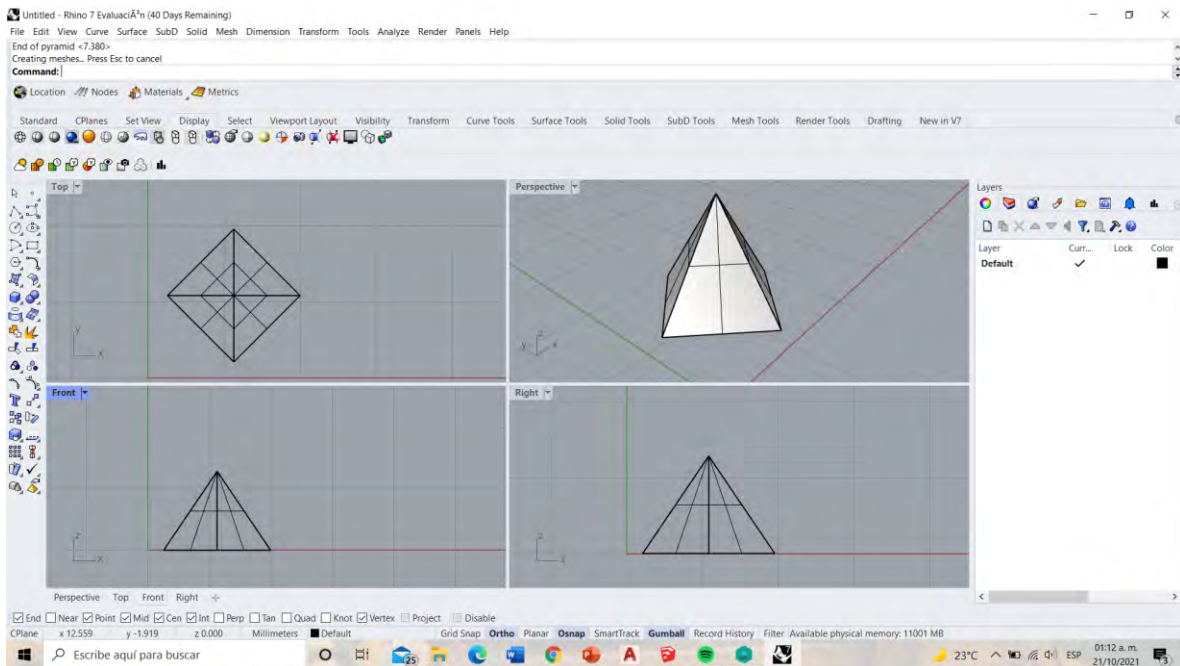


Imagen 4. Interfaz Rhinoceros. Fuente: Elaboración propia a partir de Rhinoceros.

4.5.2 Grasshopper

Grasshopper es un editor de algoritmos de generación que, vinculado a Rhinoceros, permite a desarrolladores y diseñadores modelar formas simples y complejas que se pueden modificar en tiempo real por medio de ciertos parámetros definidos durante la construcción de los esquemas; esto, sin tener que escribir un código de programación. Este software de diseño paramétrico fue creado con base en componentes de terceros que van desde el análisis ambiental hasta el control robótico. De esta manera, Grasshopper es muy versátil, logrando vincular softwares de desempeño ambiental, tales como DIVA, Honeybee, Ladybug, ClimateStudio, etc.

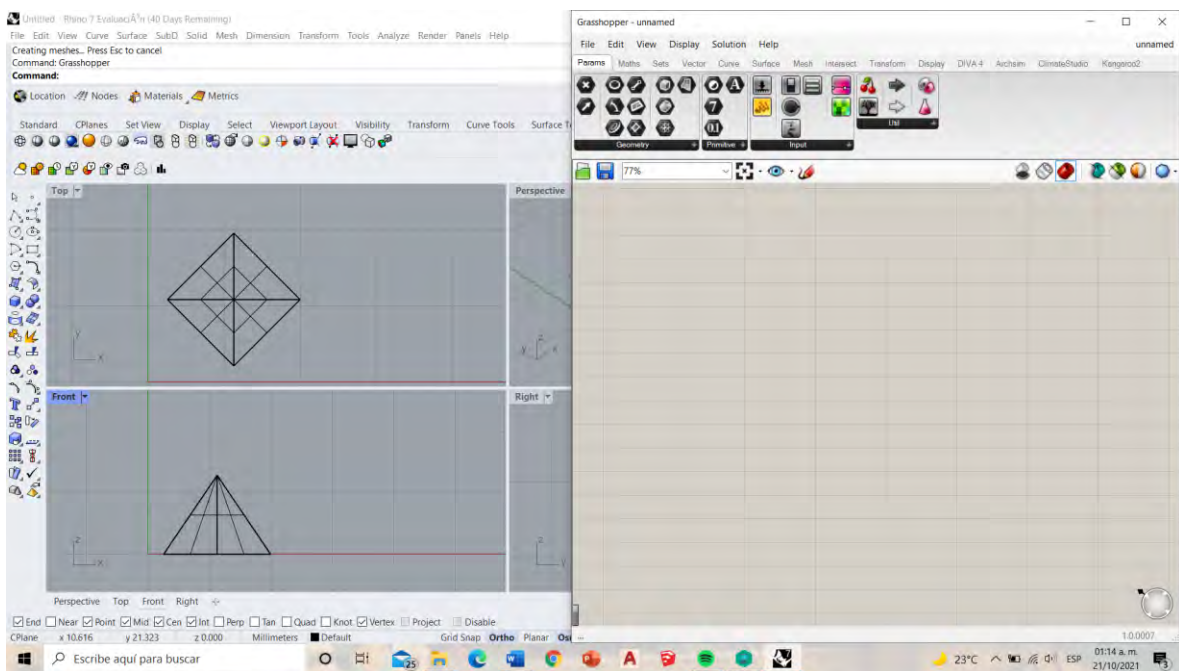


Imagen 5. Interfaz Grasshopper. Fuente: Elaboración propia a partir de Grasshopper y Rhino.

4.5.3 DIVA

DIVA-for-Grasshopper es un plugin que ejecuta simulaciones para el análisis de desempeño térmico, de luz diurna, de radiación solar y de deslumbramiento. DIVA significa Design Iterate

Validate Adapt. A partir de 2021, DIVA emigró a ClimateStudio, por lo que no se le continúa dando soporte.

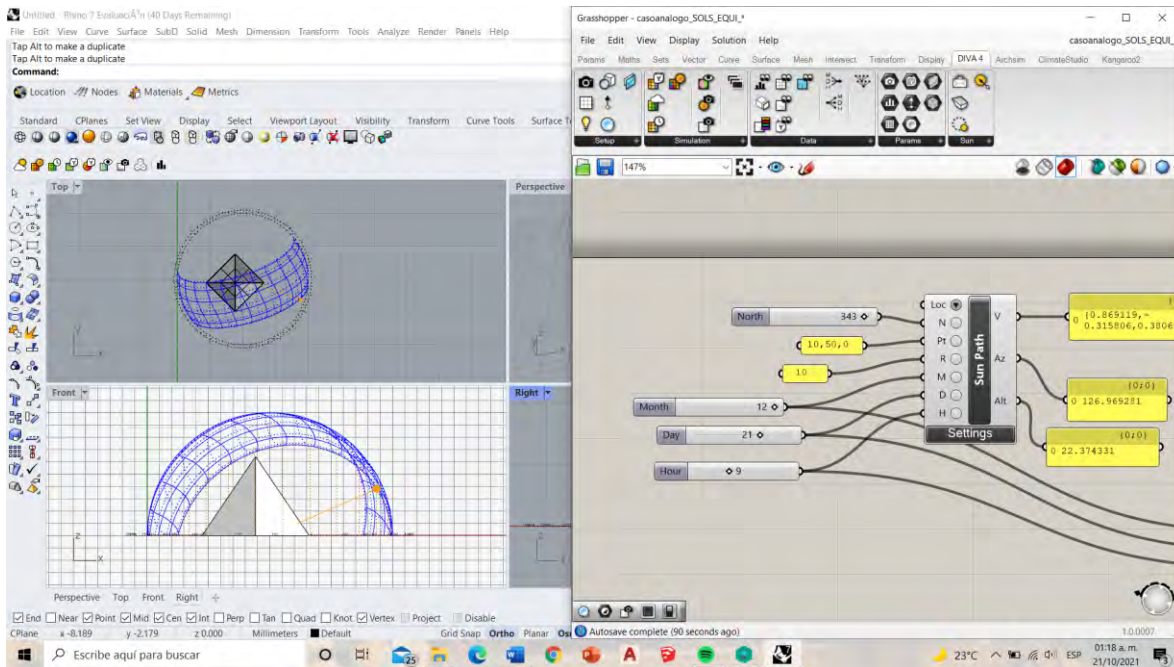


Imagen 6. Interfaz DIVA-for-Grasshopper. Fuente: Elaboración propia a partir de DIVA-fir-Grasshopper y Rhino.

4.5.4 ClimateStudio

ClimateStudio es un plugin para Rhinoceros. Es un software de análisis de desempeño ambiental preciso para el sector de Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC). Sus flujos de trabajo de simulación ayudan a los diseñadores y consultores a optimizar los edificios para la eficiencia energética, el acceso a la luz natural, el rendimiento de la iluminación eléctrica, el confort visual y térmico y otras medidas de salud de los ocupantes. ClimateStudio incluye una biblioteca de búsqueda de más de 30.000 archivos meteorológicos y ofrece visualizaciones interactivas de temperatura, humedad, viento, radiación y condiciones de confort (UTCI, Universal Thermal Climate Index) en el sitio.

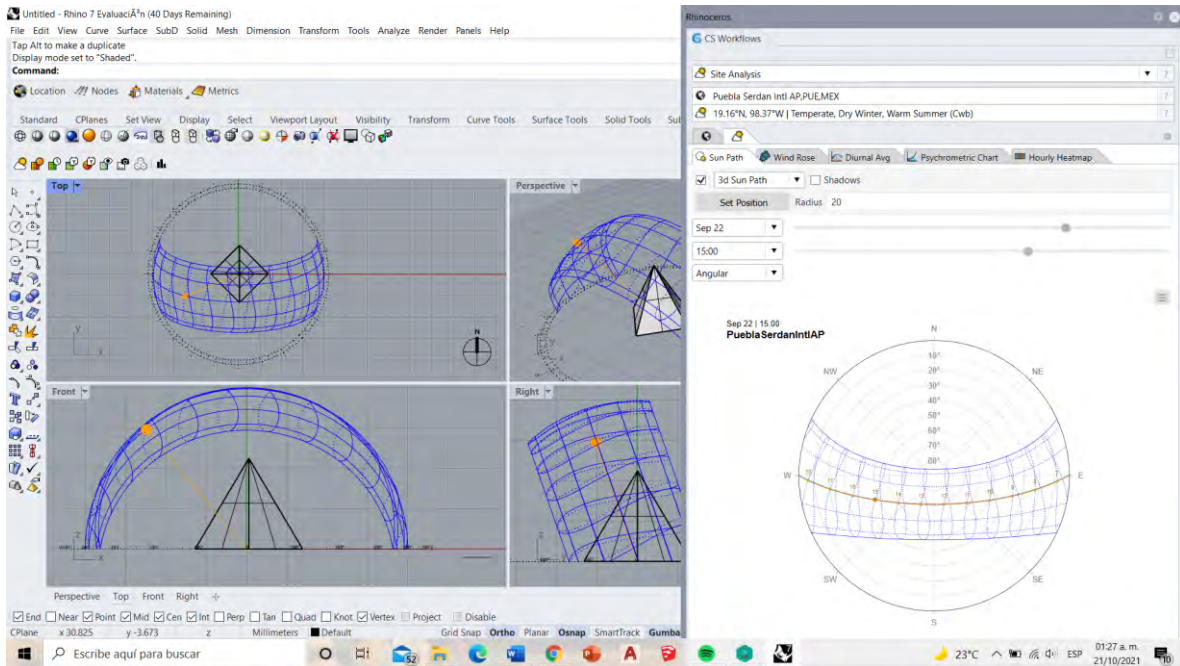


Imagen 7. Interfaz Rhino con ClimateStudio. Fuente: Elaboración propia a partir de ClimateStudio y Rhino.

4.6 Simulación del desempeño ambiental

En el ámbito del desempeño ambiental de las edificaciones, existen diferentes rubros que contribuyen al ahorro energético y a mejorar la calidad del ambiente interior. De acuerdo con el Centers for Disease Control and Prevention, la definición de la Calidad del Ambiente Interior se refiere a las propiedades físicas del ambiente de un edificio que propicia condiciones de salud y bienestar a aquellos que ocupan un espacio dentro de ellos. Para los fines de esta tesis, se describirán dos tipos de simulaciones del desempeño ambiental: asoleamiento e iluminación natural.

4.6.1 Simulación de asoleamiento

Realizar una simulación del análisis solar nos permite conocer y posteriormente evaluar la incidencia de luz natural en el espacio interior y la ubicación de las sombras proyectadas por el edificio en el contexto inmediato. Usualmente, estos análisis se realizan para momentos específicos del año, que suelen ser las fechas críticas como equinoccios y solsticios, en tres

horarios del día (mañana, medio día y tarde). Por otro lado, los análisis también se pueden realizar de manera anual, lo que implica mayor cantidad de información que puede ser sintetizada por estaciones o periodos. Para realizar un análisis solar, se deben considerar datos importantes para su correcto análisis, tales como el azimut, altitud, huso horario (u horario solar), orientación geográfica y el archivo climático de la localidad. Este último es un archivo que consta de datos rescatados de una ciudad específica en base a las mediciones realizadas en estaciones meteorológicas, variables ambientales, algoritmos de interpolación y periodos de 10 o más años.

4.6.2 Simulación de iluminación natural

Un análisis de iluminación natural nos permite evaluar el desempeño lumínico de los espacios interiores y de esta manera conocer su correcto aprovechamiento y definir óptimamente la altura del techo, el tamaño de la ventana, el porcentaje de acristalamiento, etc. El correcto uso de la luz natural en un proyecto arquitectónico nos permite brindar al usuario un ahorro energético, una vista más sana para los ojos, una mayor productividad y la generación de efectos y sensaciones. Para realizar un análisis de iluminación natural se requiere de un archivo climático de la locación, la orientación del edificio, las alturas de trabajo sobre las que se quiere evaluar la calidad de iluminación y conocer las horas de aprovechamiento de luz natural que dependerá del uso y función de cada espacio.

5

casos análogos.

5.1 Townhouses Hipódromo

Proyecto Arquitectónico: Luis Vargas Seoane

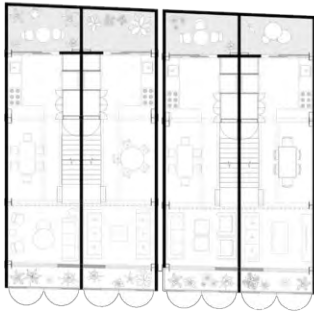
Superficie construida: 745 m²

Lugar: Ciudad de México

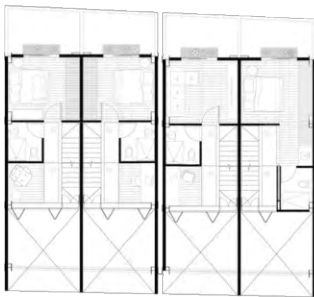
Año: 2016

Atendiendo a la densificación de la zona centro de la Ciudad de México, este edificio contempla 4 viviendas verticales dentro de dos terrenos independientes. La configuración de cada vivienda se desarrolla en 4 niveles que albergan todas las áreas requeridas. La estructura de acero y los muros de block se muestran de forma aparente tanto al exterior como al interior donde, además, se incorpora la madera como volumen contenedor de la zona privada. Presenta una fachada frontal completamente acristalada que permite una extensión del espacio interior hacia las vistas arboladas de la zona. La iluminación natural se complementa con un domo sobre cada una de las viviendas que permite el acceso de la luz a todos los niveles por medio del acristalamiento entre losas.

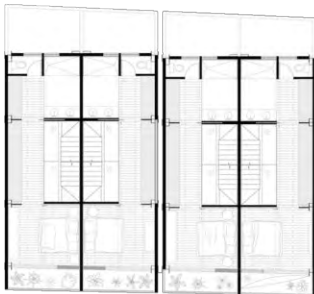
Esta configuración de vivienda crea un espacio totalmente independiente para cada uno de los habitantes del edificio, sin embargo, limita por completo los espacios de encuentro y áreas de convivencia. Los espacios interiores son de dimensiones mínimas pero adecuadas. Cada uno de los niveles se desarrolla de forma independiente y se integran por medio del espacio de circulación y las dobles alturas. La materialidad interior, de poca reflectancia, limita en cierta parte el máximo aprovechamiento de la luz natural que se busca debido a la orientación y configuración longitudinal no favorable de la vivienda.



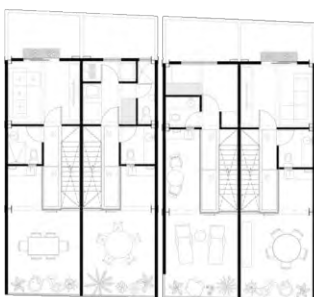
Nivel 1



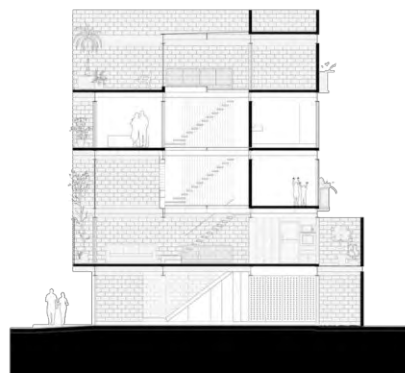
Nivel 2



Nivel 3



Nivel 3



Corte

5.2 Edificio Ámsterdam

Proyecto Arquitectónico: Jorge Hernández de la Garza

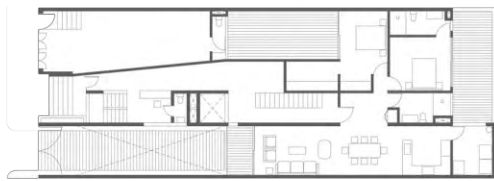
Superficie construida: 1,531 m²

Lugar: Ciudad de México

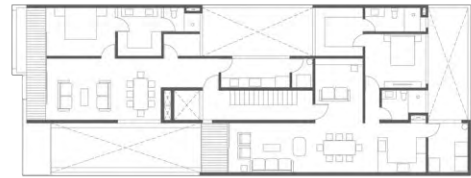
Año: 2015

Este edificio busca integrarse en un contexto de arquitectura *art déco* de los años 20's con un estilo contemporáneo que contempla una materialidad cromática y una altura acorde a la arquitectura de la época. Se compone de 7 departamentos distribuidos en 6 niveles. Además, integra un espacio comercial en la planta baja. La configuración de cada departamento es única y adecuada a su forma. Su fachada frontal se compone por terrazas con jardineras que se unificarán con la vegetación del entorno con el paso del tiempo. La materialidad interior es principalmente muros y plafones de concreto aparente, pisos oscuros y algunos elementos de madera y acero.

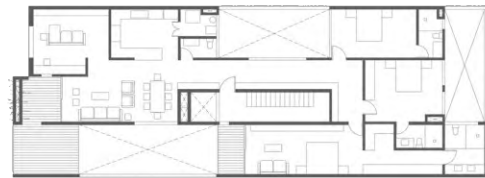
Las grandes aberturas hacia las terrazas generan una continuidad del espacio interior con un énfasis en las vistas hacia la vegetación exterior. La vegetación alta y frondosa del entorno limita un buen aprovechamiento de luz natural, sin embargo, este ambiente es aprovechado para el diseño de una iluminación ambiental y cálida. El área de circulación para acceder a cada uno de los niveles se integra en el núcleo del edificio y hacia un acceso único peatonal para los usuarios.



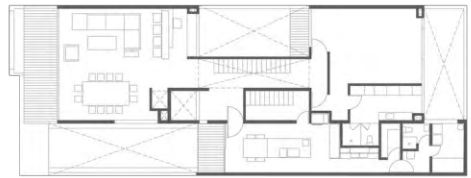
Planta baja



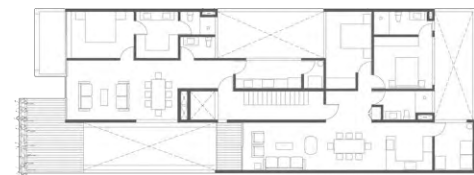
Nivel 3



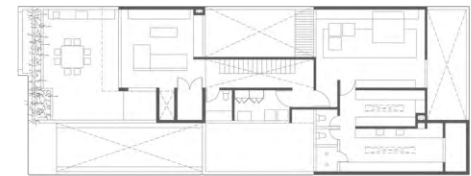
Nivel 1



Nivel 4



Nivel 2



Nivel 5



Esquema 2. Fotografías y planimetría, Edificio Ámsterdam. Fuente: ArchDaily.

5.3 Vivienda Portales

Proyecto Arquitectónico: Fernanda Canales

Superficie construida: 1,200 m²

Lugar: Ciudad de México

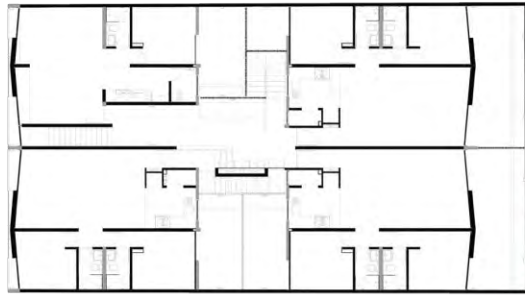
Año: 2015

Departamento Nivel 1: 70m²

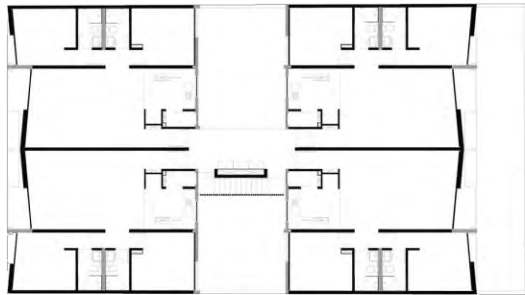
Departamento Nivel 2: 90m² (dos niveles)

Este edificio se compone por 3 niveles con 4 departamentos cada uno. Cada nivel tiene variaciones de alturas y adecuaciones que corresponden a las vistas y los balcones de cada habitación. Está ubicado en una zona en proceso de transformación, por lo que se protegieron las vistas por medio de balcones y terrazas hacia la calle y un patio trasero. Los patios intermedios proveen una adecuada iluminación natural y ventilación cruzada para los departamentos. La azotea alberga cuatro terrazas distintas, específicas para cada una de las viviendas dúplex de la última planta. La escalera es la pieza central del conjunto, abierta también hacia los patios intermedios y conformada por una celosía de concreto que hace perder los límites entre interior y exterior.

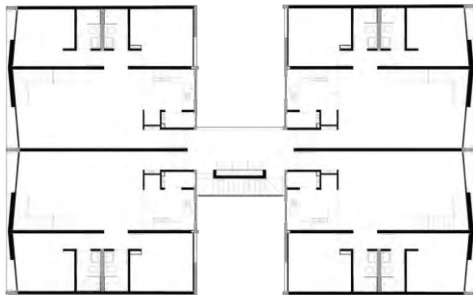
Los espacios interiores generan una sensación de amplitud visual y espacial. Se implementaron materiales simples y económicos pero cuidando la calidad de los detalles de diseño que le dan un mayor valor estético.



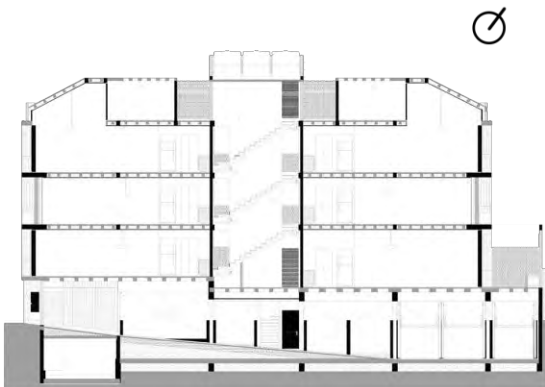
Planta Baja



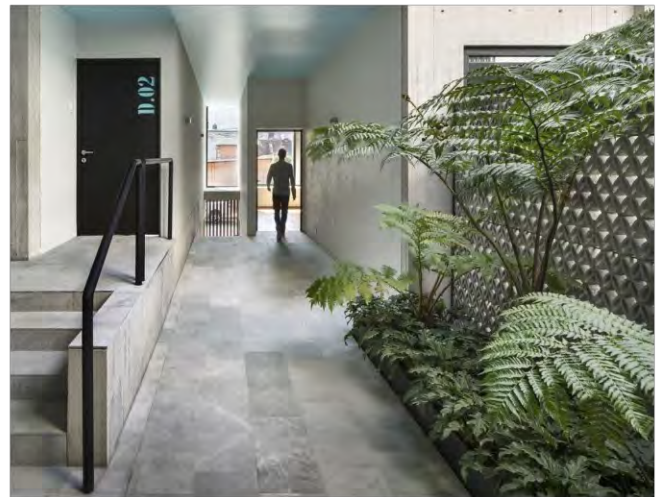
Nivel 1



Nivel 2



Corte



Esquema 3. Fotografías y planimetría, Vivienda Portales. Fuente: ArchDaily.

5.4 Apartamentos Rebollar

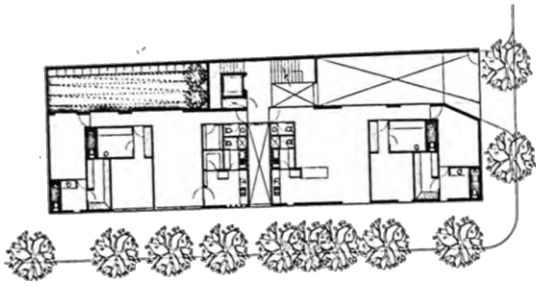
Proyecto Arquitectónico: J. Francisco Serrano, Pablo Serrano Orozco, Susana García Fuentes

Superficie construida: 1,280 m²

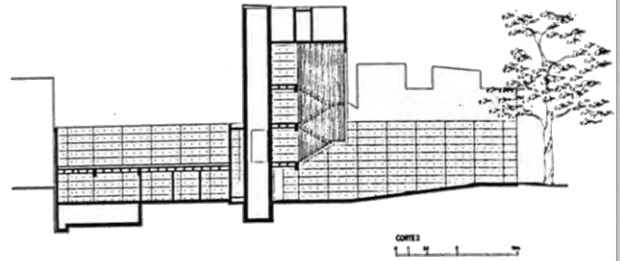
Lugar: Ciudad de México

Año: 2009

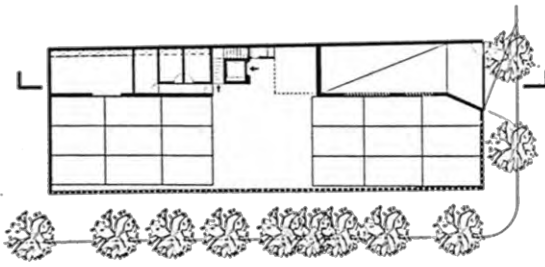
Este edificio está situado en un terreno de 456m² con su fachada principal orientada al noreste. Cuenta con un departamento con terraza, dos departamentos tipo y dos *penthouses* con una terraza en la azotea. Cada uno de los departamentos consta de sala-comedor, toilet, dos recámaras con baño-vestidor, cocina, baño de servicio, cuarto de lavado y patio de servicio. La distribución de los espacios procura otorgar ventilación e iluminación natural a la mayor parte del departamento. El edificio tiene un aprovechamiento de iluminación y ventilación natural por la mayoría de sus fachadas excluyendo solamente la sureste. Implementa puntos luminosos por medio de elementos acrílicos sobre los muros exteriores. El edificio cuenta con un solo acceso peatonal y vehicular. Los espacios interiores son amplios, con superficies de colores claros y grandes aberturas con la finalidad de integrar una buena iluminación por medios naturales.



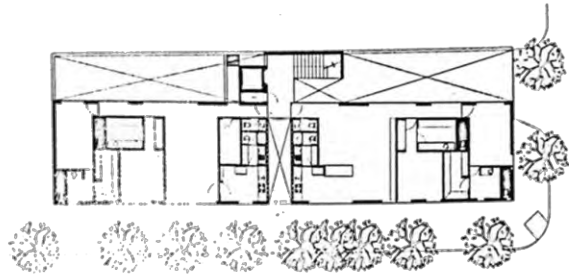
Nivel 1



Corte



Planta baja



Nivel 2



Esquema 4. Fotografías y planimetría, Apartamentos Rebollar. Fuente: Lo mejor de lo mejor Arquitecturas mexicanas (2012).

6

caso de estudio.

Con la finalidad de realizar un análisis más exacto de las virtudes lumínicas de un caso análogo y de familiarizarnos con los programas de simulación computacional, se realizó un análisis de asoleamiento e iluminación natural de los Apartamentos Rebollar.

6.1 Análisis de asoleamiento

Este edificio de departamentos ubicado en la Ciudad de México, fue tomado como caso análogo para realizar un análisis de asoleamiento. Para ello, se modeló el tercer nivel por medio del programa 3D Rhinoceros, incluyendo no sólo la volumetría del edificio sino también los elementos del contexto inmediato que intervienen en la incidencia solar. Esto a partir de imágenes y la planimetría del proyecto.

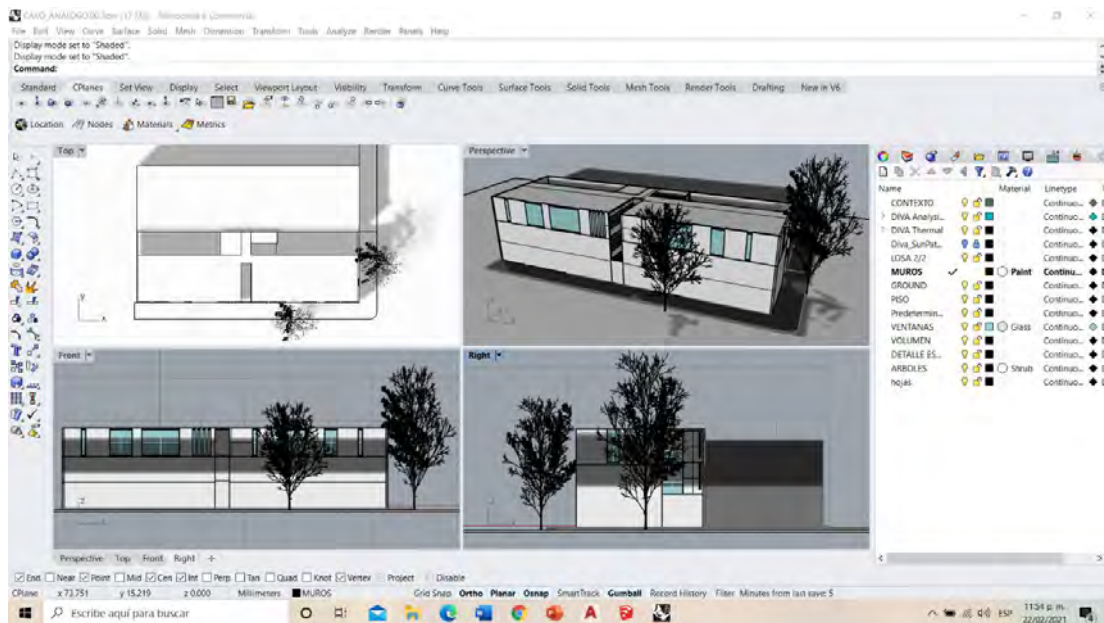


Imagen 10. Interfaz Rhinoceros, modelado 3D Apartamentos Rebollar. Fuente: Elaboración propia a partir de Rhinoceros.

Posteriormente, por medio del programa de diseño paramétrico Grasshopper y el programa de iluminación natural y energía DIVA, se obtuvo una vista en perspectiva y otra vista interior del edificio durante tres horas del día en cada una de las fechas seleccionadas,

las cuales fueron a las 9:00, 12:00 y 15:00 h. Estas imágenes muestran la proyección de sombras y la incidencia solar tanto al interior como al exterior del edificio. Además, se integró una vista aérea desde Rhinoceros para mostrar la posición del sol y la dirección de la sombra.

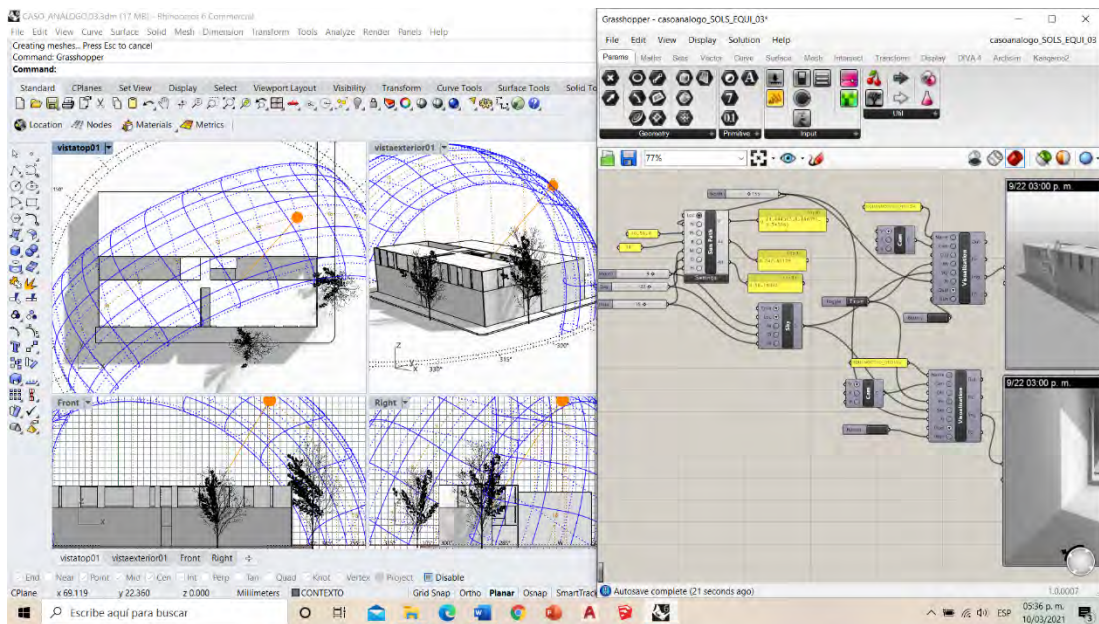


Imagen 11. Interfaz DIVA-for-Grasshopper, análisis de asoleamiento Apartamentos Rebollar. Fuente: Elaboración propia a partir de DIVA-for-Grasshopper y Rhino.

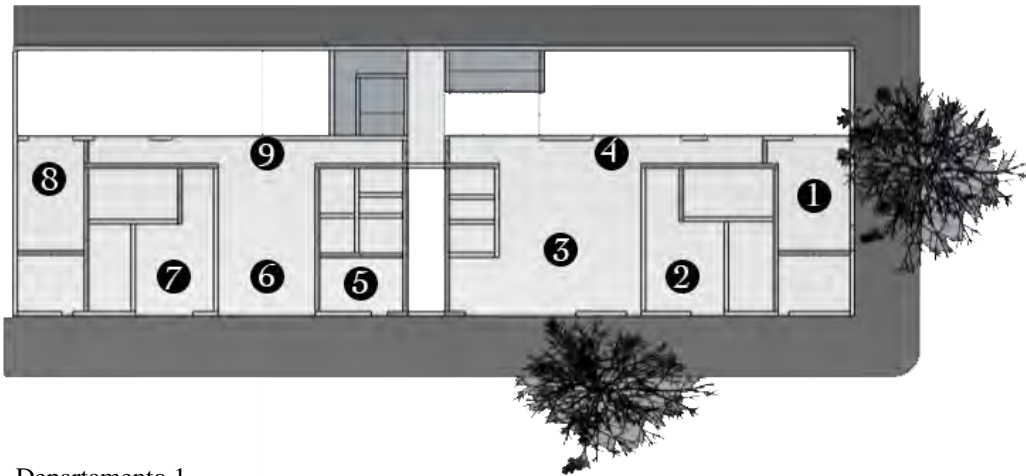
De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede concluir que la fachada más larga del edificio orientada al noreste, en la cual se ubican la mayoría de las ventanas, presenta un exceso de asoleamiento durante temporadas calurosas la gran parte del día pero carece de ganancias solares durante el invierno. Esto puede perjudicar el confort térmico y lumínico interior para los ocupantes durante algunos meses del año. Además, durante las primeras horas del día, el recorrido solar genera sobre el edificio un sombreado considerable sobre la fachada principal del edificio.

Periodo	Hora	Espacio Virtual Exterior		Espacio Virtual Interior		Vista en planta
		Imagen 3D	Imagen pseudocolor	Imagen 3D	Imagen pseudocolor	
SOLSTICIO DE VERANO (21 de Junio)	09:00					
	12:00					
	15:00					
EQUINOCCIO DE OTOÑO (21 de Septiembre)	09:00					
	12:00					
	15:00					
SOLSTICIO DE INVIERNO (21 de Diciembre)	09:00					
	12:00					
	15:00					

Tabla 1. Resultados de simulación de asoleamiento, Apartamentos Rebollar. Fuente: Elaboración propia a partir de DIVA-for-Grasshopper y Rhino.

6.2 Análisis de iluminación natural

Este edificio fue tomado como caso análogo para realizar un análisis de iluminación natural en cada uno de los espacios que componen un departamento como lo son área común, cocina, habitaciones y pasillos. Para esto, dentro del modelo 3D creado a partir de Rhinoceros, se colocó una superficie a la altura deseada de estudio (cambiante de acuerdo con la función de cada espacio) sobre la cual se proyectarán los resultados por medio de la programación de DIVA-for-Grasshopper.



Departamento 1

1. Habitación 1
2. Habitación 2
3. Área común y Cocina
4. Pasillo

Departamento 2

5. Cocina
6. Área común
7. Habitación 1
8. Habitación 2
9. Pasillo

Esquema 5. Nivel 3, Apartamentos Rebollar. Fuente: Elaboración propia.

Espacio	Altura de plano de cálculo (m)
Departamento 1	
Habitación 1	0.70
Habitación 2	0.70
Área común y cocina	0.90
Pasillo	0.40
Departamento 2	
Cocina	0.90
Área común	0.90
Habitación 1	0.70
Habitación 2	0.70
Pasillo	0.40

Tabla 2. Alturas de plano de cálculo de iluminación en Rhinoceros. Fuente: Elaboración propia.

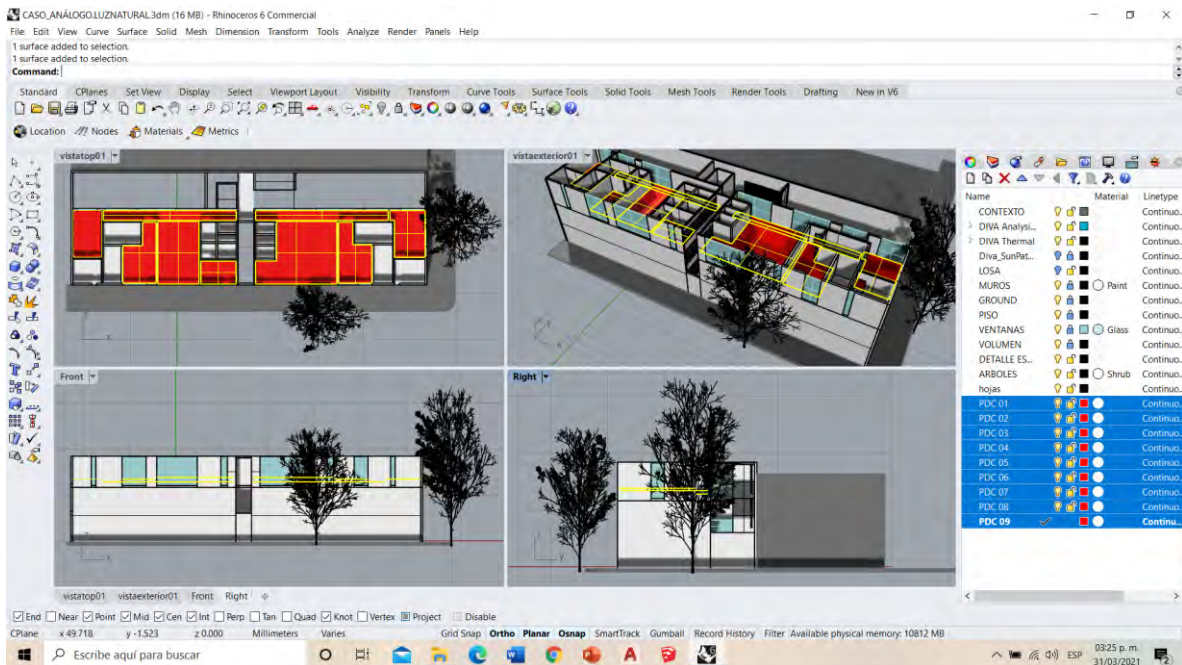


Imagen 12. Interfaz Rhinoceros, modelado 3D Apartamentos Rebollar. Fuente: Elaboración propia a partir de Rhinoceros.

Material (Layer)	Reflectancia
LOSA	70
MUROS	50
PISO	20
VENTANAS	(Transmitancia) 80
VOLUMEN	20
ARBOLES	50
GROUND	20
CONTEXTO	20

Tabla 3. Materialidad de los elementos en Rhinoceros y su reflectancia. Fuente: Elaboración propia.

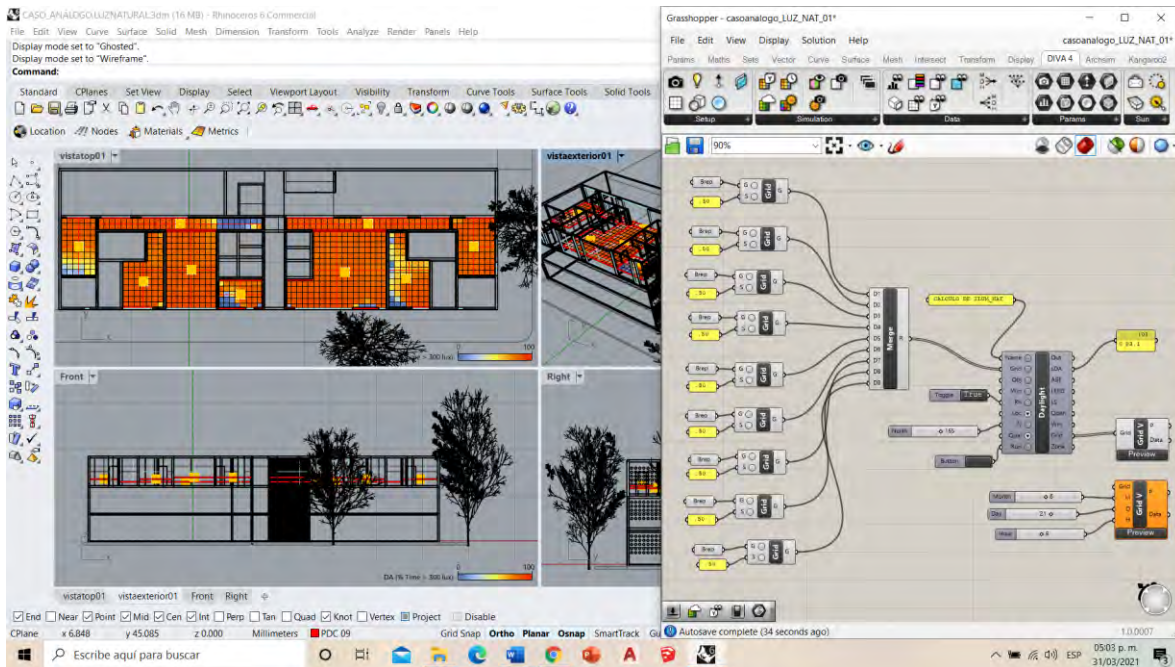


Imagen 13. Interfaz DIVA-for-Grasshopper, análisis de iluminación natural Apartamentos Rebollar. Fuente: Elaboración propia a partir de DIVA-for-Grasshopper y Rhino.

Por medio de Grasshopper y DIVA se realizó una simulación basada en el Daylight Autonomy (DA) tomando un umbral de autonomía de luz diurna de 300 lux, lo cual nos muestra por medio de color y valores numéricos el porcentaje de tiempo de 0 a 100 en el que se provee una iluminación natural mayor o igual a 300 lux sobre la superficie seleccionada. El objetivo de 300 lux es considerado adecuado para realizar actividades visuales en espacios habitacionales, sin necesidad de encender la iluminación eléctrica.

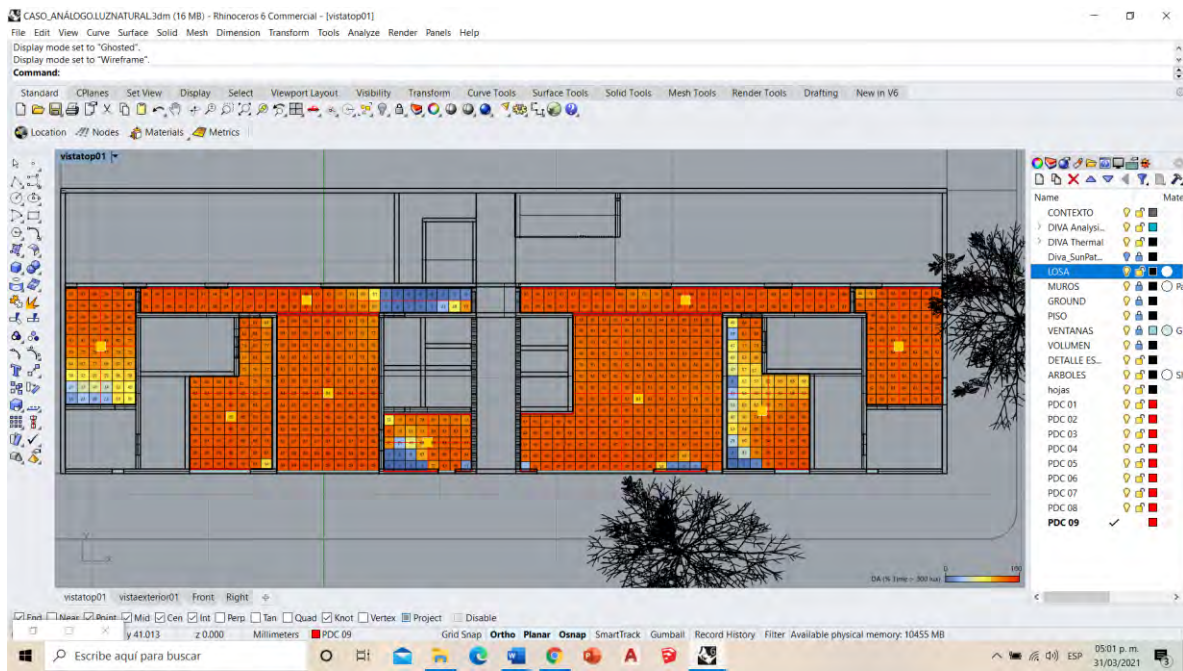


Imagen 14. Plano de resultados DA, Apartamentos Rebollar. Fuente: Elaboración propia a partir de DIVA-for-Grasshopper y Rhino.

El Daylight Availability (DA_v), en cambio, nos muestra qué porcentaje del plano de trabajo alcanza niveles adecuados de iluminación (mayor o igual a 300 lux) durante más del 50% del tiempo, tomando en cuenta que más de 3000 lux indicaría un deslumbramiento visual y pérdida del confort térmico en el interior. El área sobreiluminada es indicado con color magenta.

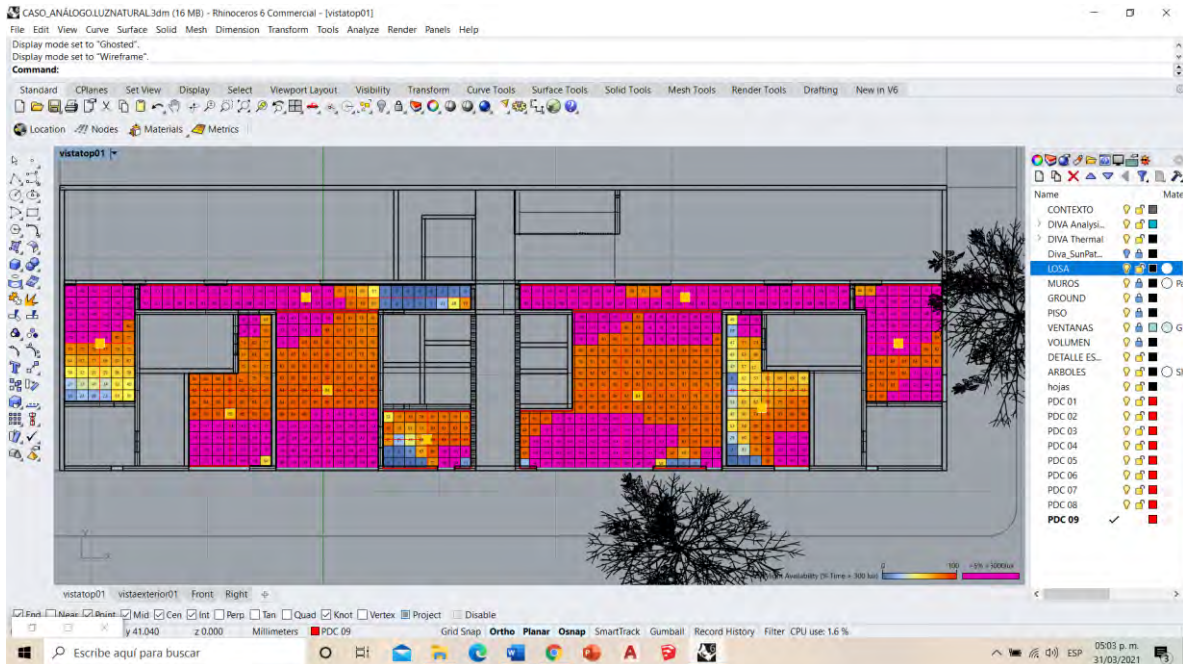


Imagen 15. Plano de resultados UDI, Apartamentos Rebollar. Fuente: Elaboración propia a partir de DIVA-for-Grasshopper y Rhino.

Como se muestra en el plano de resultados, gran parte de las superficies cercanas a las ventanas tendrán un exceso de iluminación, por lo que se propone un sistema de control de iluminación a partir de louvers de función manual. Por tanto, por medio de DIVA se realizó una simulación de dicho sistema en las ventanas con el fin de otorgar un mayor confort lumínico y térmico al interior. Dicho sistema se basa en un algoritmo que identifica patrones de comportamiento, el cual, indica que a partir de 50 W/m^2 la superficie de trabajo cercana a la ventana recibe un exceso de iluminación al usuario, por lo que se opta por cerrar las cortinas.

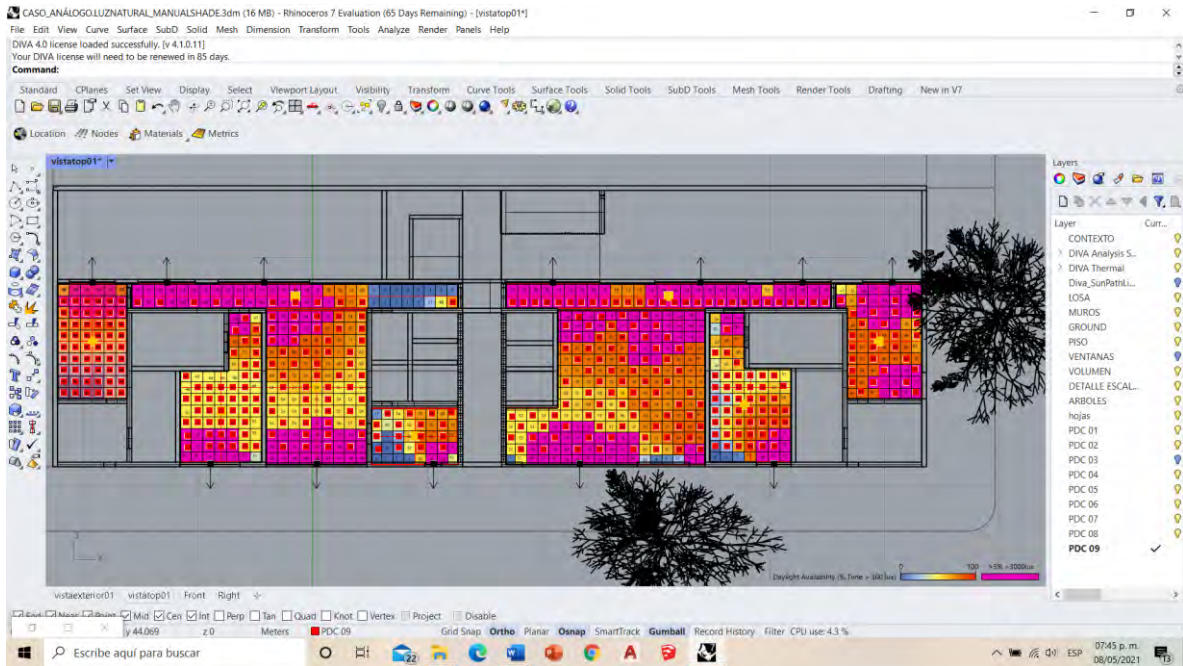


Imagen 16. Plano de resultados UDI con sistema de control solar, Apartamentos Rebollar. Fuente: Elaboración propia a partir de DIVA-for-Grasshopper y Rhino.

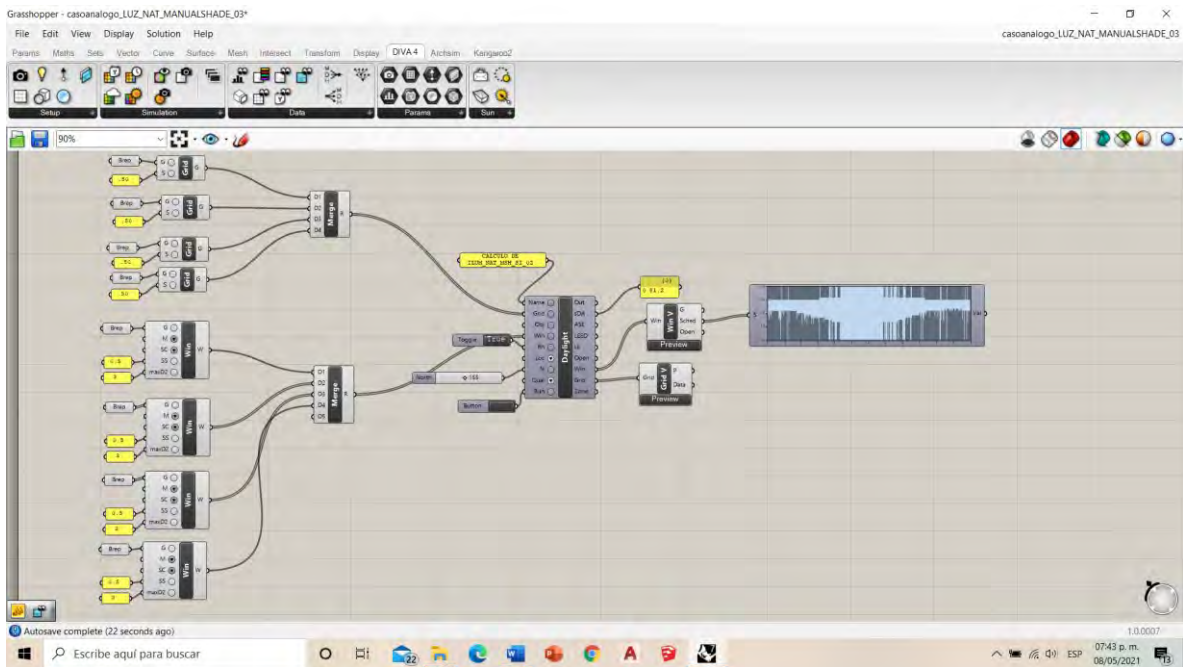


Imagen 17. Interfaz DIVA-for-Grasshopper, sistema de control solar. Fuente: Elaboración propia a partir de DIVA-for-Grasshopper.

Con este sistema que nos permite controlar la cantidad de luz y calor que llega al interior, se logran reducir los excesos de iluminación cercanos a las ventanas del edificio proporcionando un mejor confort térmico y lumínico para los ocupantes. Además, se hizo una simulación en los días de solsticio de verano, el cual presenta la situación de asoleamiento más crítica, durante los horarios de 9:00, 12:00 y 15:00 h para evaluar los niveles de iluminación entre 0 y 2000 lux con el fin de hacer un análisis más detallado. Los resultados son los siguientes:

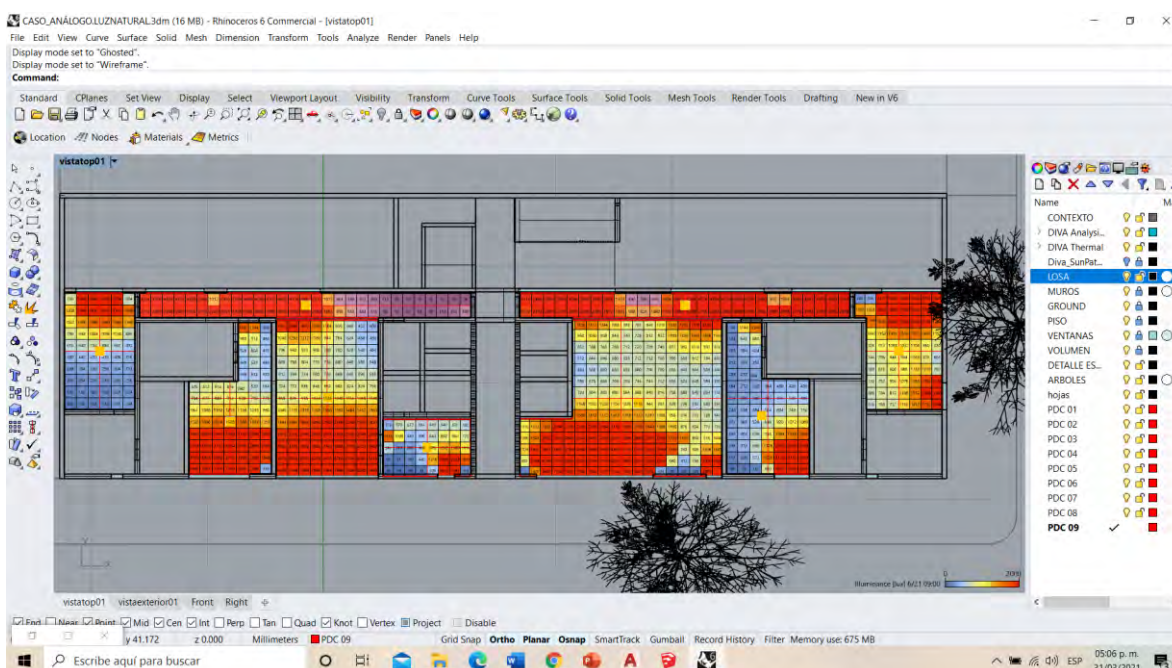


Imagen 18. Plano de resultados iluminación natural 21 DE JUNIO 9:00 hrs, Apartamentos Rebollar. Fuente: Elaboración propia a partir de DIVA-for-Grasshopper y Rhino.

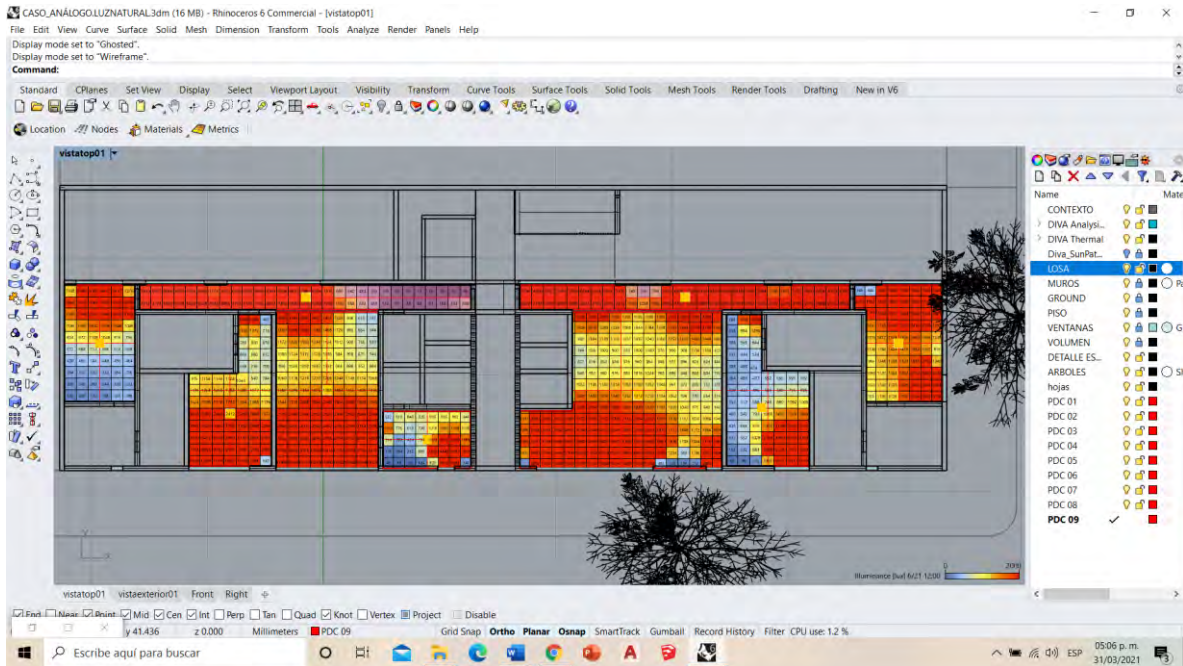


Imagen 19. Plano de resultados iluminación natural 21 DE JUNIO 12:00 hrs, Apartamentos Rebollar. Fuente: Elaboración propia a partir de DIVA-for-Grasshopper y Rhino.

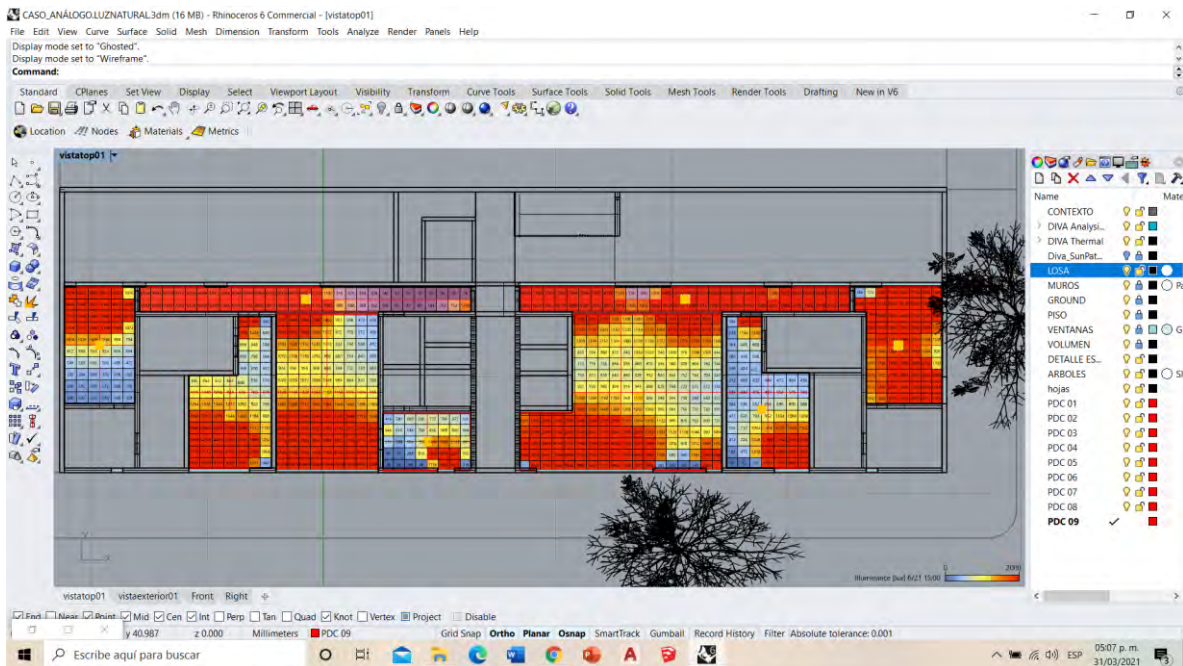


Imagen 20. Plano de resultados iluminación natural 21 DE JUNIO 15:00 hrs, Apartamentos Rebollar. Fuente: Elaboración propia a partir de DIVA-for-Grasshopper y Rhino.

7

proyecto
arquitectónico.

7.1 Descripción y generalidades

Quetzalcóatl Norte, es una propuesta de diseño para un edificio de vivienda vertical en el que se aplicaron la teoría y los criterios de diseño que se han analizado anteriormente para captar la arquitectura hacia un diseño sustentable y de confort interior.

Está ubicado en un terreno de 66 m × 32 m sobre la Ruta Quetzalcóatl en San Andrés Cholula, Puebla, con dos colindancias laterales. Ocupa un área de 2,733 m² de construcción y 890 m² de áreas verdes representando un 33% del total de m² construidos. El edificio se compone de 21 departamentos distribuidos en 2 torres de 3 niveles y 2 de 4 niveles, un sótano con estacionamiento para 21 autos y dos espacios comerciales de 28.6 m² con 4 cajones de estacionamiento.

7.2 Perfil del usuario

Este proyecto de vivienda vertical tiene como propósito ser un entorno habitable para usuarios que busquen un espacio confortable dentro de un contexto natural y de comunidad que favorezca su desempeño personal y social. Dichos usuarios, se definen en su mayoría por adultos jóvenes entre 18 y 30 años (profesionistas, estudiantes y jefes o jefas de familia compuestas por hasta 3 integrantes). “Se proyecta que, para el 2050, el 70% de la población mundial vivirá en ciudades y que, de este porcentaje, el 60% tendrá menos de 18 años.” (Vera & Adler, 2018)

En el año 2020 Cholula registraba un total de 138,433 habitantes siendo 52% mujeres y 48% hombres. Registro que muestra un aumento del 14.9% desde el año 2010. Los rangos de edad que representan un mayor porcentaje respecto a la población total fueron 20 a 24 años (12,081 habitantes), 15 a 19 años (11,758 habitantes) y 25 a 29 años (11,109 habitantes) con un porcentaje del 25.2% respecto a la población total.

Según el INEGI, en 2020 el 45% de los jóvenes entre 15-24 años son estudiantes. Puebla ocupa el 4to lugar entre los estados con mayor número de universitarios a nivel nacional. Más del 30% de la matrícula total de nivel superior en Puebla es foránea.

Según el informe laboral Puebla 2021 de la secretaría del trabajo y previsión social, la población dentro del rango de edad entre 18 y 29 años representan con un 24.7% la mayoría dentro de la población económicamente activa ocupada.

El joven adulto en la actualidad aspira a tomar decisiones de forma independientemente y lograr responsabilizarse de sí mismo. Las metas educativas y laborales le proporcionan una sensación de autosuficiencia y las interpersonales le otorgan responsabilidad social. Los jóvenes forman una parte importante para el buen desarrollo económico y social de las ciudades, por lo cual, es indispensable brindarles un entorno seguro y adecuado para el desarrollo social y profesional.

Un entorno habitable adecuado es aquel donde el usuario sea capaz de satisfacer tanto aquellas necesidades básicas y evidentes como aquellas que no son fácilmente reconocibles pero son capaces de alterar positivamente una vida. Cada una de las necesidades y su satisfacción se ven afectadas o favorecidas por las condiciones del espacio físico que habita el ser humano.

7.3 Programa arquitectónico

Generalmente, los hogares compuestos por usuarios de entre 18-30 años son hogares unipersonales, hogares con pareja conyugal y hogares con jefe o jefa de familia de hasta 3 integrantes. Por lo tanto, se proponen dos tipos de departamentos que se adapten a las necesidades de los usuarios según el número de integrantes.

El primer departamento **tipo estudio** cuenta con los espacios mínimos indispensables como lo son el área común y una habitación con baño completo. El segundo tipo de departamento **tipo doble** cuenta con un área común, medio baño, bodega y dos habitaciones con vestidor y baño completo.

Una parte del terreno actualmente es utilizado por un comercio no formalmente establecido. Sabiendo que uno de los principales ingresos de esta zona de Puebla son los diferentes establecimientos, se decidió otorgar un espacio para dos comercios con el propósito de evitar la apropiación de la vía pública y favorecer mutuamente ambas funciones

del edificio al integrar programas que involucran a la comunidad y que favorezcan la interacción social y económica.

Las áreas verdes fueron propuestas para conformar uno de los criterios más importantes de la composición del edificio generando biodiversidad, mejorando las condiciones medioambientales y creando paisajes de conexión entre el interior y el exterior.

DEPARTAMENTO TIPO ESTUDIO (14)	
66 m2 totales	
Espacio	M2
Cocina	17.6
Sala	9.72
Terraza	4.45
Pasillo	14
Habitación	13.6
Baño	6.60
DEPARTAMENTO TIPO DOBLE (7)	
166 m2 totales	
Espacio	M2
Cocina	19.4
Comedor	11.6
Sala	28.7
Baño1	4.2
Bodega	2.92
Vestíbulo	8.8
Pasillo	14
Habitación 1	18.85
Vestidor 1	5.27
Baño 2	5
Habitación 2	18.85
Vestidor 2	5.27
Baño 3	5
Terraza	18.76

LOCALES (2)	
28.6 m2 totales	
Espacio	M2
Baño	3
local	25.6
SERVICIO	
1027 m2 totales	
Espacio	M2
Caseta de seguridad	3.75
Baño	2.64
Bodega	6.70
Escaleras estacionamiento	7.80
Estacionamiento	660
Pasillos	320
Escaleras generales	26.4
ÁREAS VERDES	
890 M2 totales	

Tabla 4. Programa arquitectónico, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.

7.4 Sitio

El análisis de sitio en un proyecto arquitectónico no es sólo un reconocimiento visual del contexto general de la zona, sino que consiste en conocer, entender e interrelacionar los componentes naturales, climáticos, arquitectónicos, culturales y sociales en su entorno para lograr incorporar integralmente un elemento arquitectónico que pasará a formar parte de dicho entorno.

El municipio de San Andrés Cholula, se localiza en la parte centro-oeste del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 18° 59' 12" y 19° 03' 24" de latitud norte y los meridianos 98° 15' 06" y 90° 20' 42" de longitud occidental. Colinda al Norte con

el municipio de San Pedro Cholula, al Sur con los municipios de Ocoyucan y la ciudad de Puebla, al Oeste con el municipio de San Gregorio Atzompa y al Este con la ciudad de Puebla.

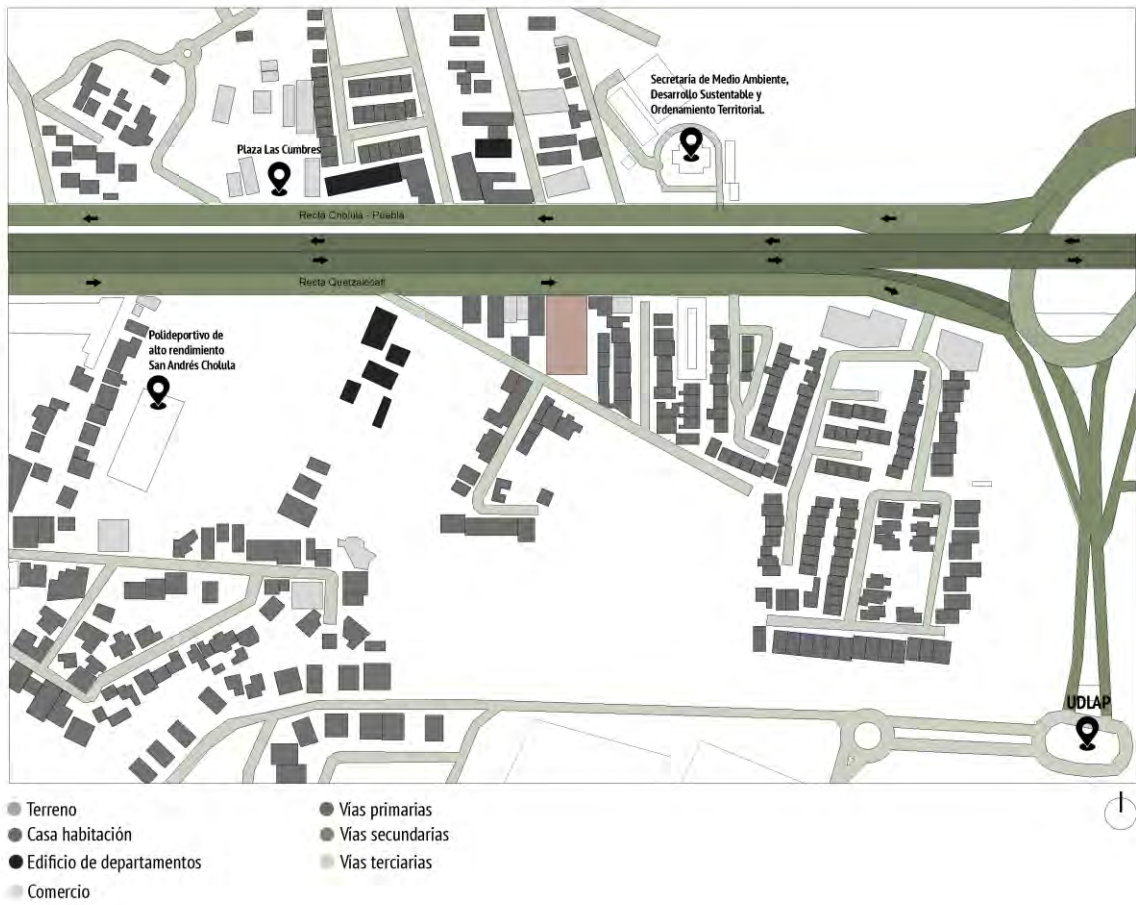
Su toponimia proviene de las raíces náhuatl "chololoa" que significa "despeñarse el agua". Es de uno de los asentamientos más antiguos de México y ha sido habitado, de manera ininterrumpida por lo menos desde el preclásico medio mesoamericano (ss. XII-IV a. C.). La ciudad fue fundada sobre los cimientos de una importante urbe indígena. Ahí se edificaron principalmente templos y adoratorios, donde posteriormente se construyeron templos católicos que suman al día de hoy 37 iglesias. Se incorporó al programa Pueblos Mágicos en el año 2012.

7.4.1 Análisis del terreno

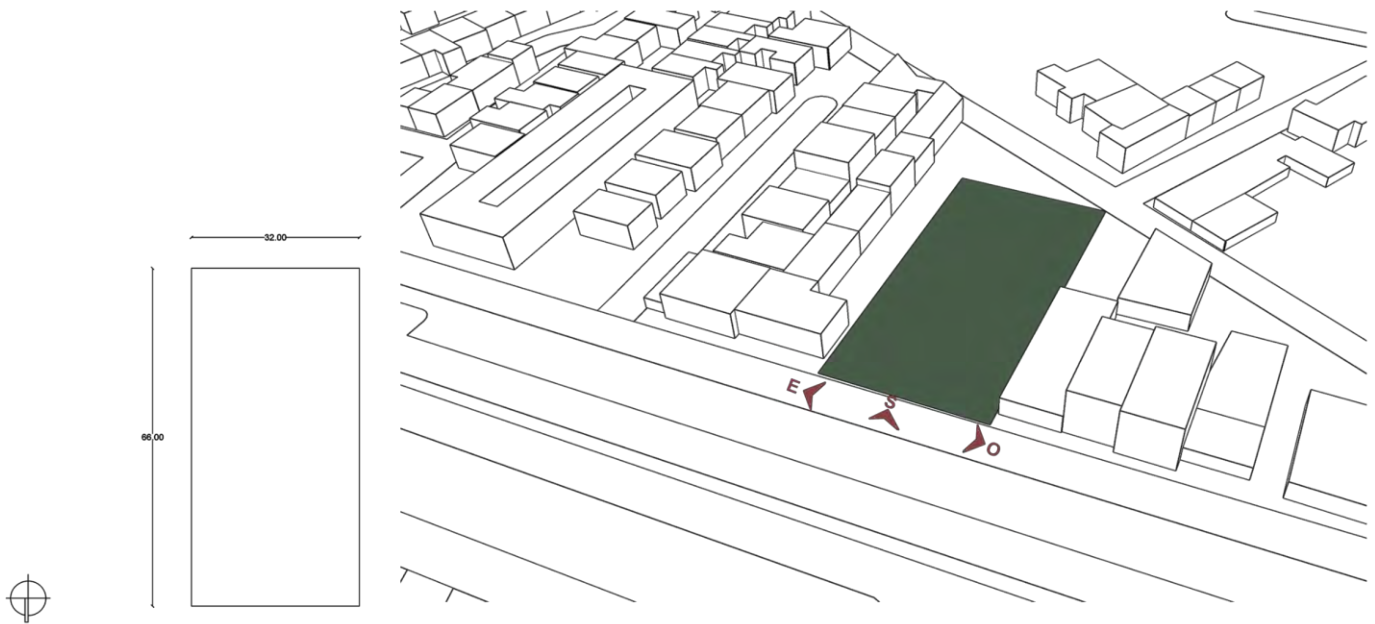
El terreno de 66 m de largo por 32 m de ancho se encuentra sobre la vía secundaria Ruta Quetzalcóatl, calle principalmente transitada por vehículos en un solo sentido y peatones. El contexto inmediato consiste principalmente de privadas habitacionales, pequeños comercios y edificios de departamentos de hasta 4 niveles.

Las fachadas más cortas del terreno corresponden a las orientaciones norte y sur, lo que limita el buen asoleamiento del terreno al recibir la mayor cantidad de incidencia solar de las orientaciones este y oeste.

La ubicación del terreno cuenta con dos colindancias laterales y una calle posterior de acceso privado. El aparcamiento de autos sobre la calle está permitido, sin embargo, entorpece el paso peatonal, de ciclistas y el acceso a los edificios y establecimientos. Las visuales principales están orientadas hacia el oeste, las cuáles, contemplan dos de los atractivos naturales y arquitectónicos más representativos de Cholula (La pirámide y los volcanes Popocatepetl e Iztaccihuatl).



Esquema 6. Análisis de sitio, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.



Vista S (sur) calle Quetzalcóatl



Vista E (este) calle Quetzalcóatl



Vista O (oeste) calle Quetzalcóatl



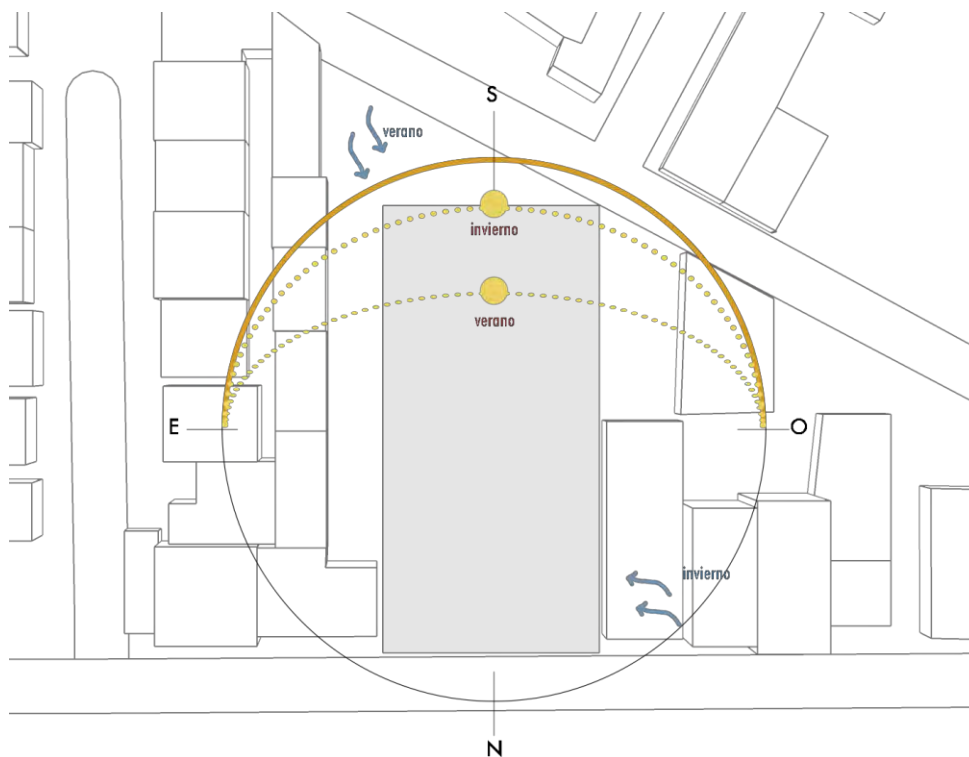
Esquema 7. Vistas del terreno, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

7.4.2 Análisis climático

El proyecto se ubica dentro de la zona de los climas templados del valle de Puebla con un clima templado subhúmedo con lluvias en verano y sin variaciones extremas. Su temperatura media anual varía entre los 18º y 20º, la media del mes de enero como el más frío entre los 10º y 16º y la del mes de mayo como el más cálido entre 20º y 22º C. La dirección del viento en San Pedro Cholula en la primavera es predominantemente del oeste y en el verano es predominantemente del sur.

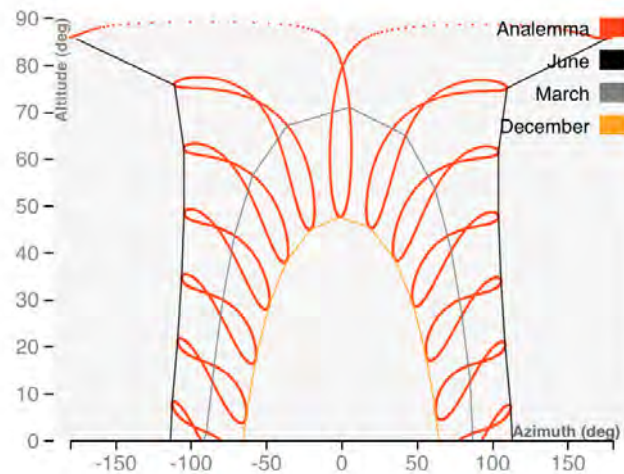
Asoleamiento

El sol tiene una inclinación de 42º en el solsticio de invierno y 82º en el solsticio de verano.



Esquema 8. Análisis de asoleamiento del terreno, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.

La siguiente gráfica muestra el analema durante las 24 horas del día, para la Ciudad de Puebla. Asimismo, incluye la siguiente información de aplicación práctica para los proyectos arquitectónicos.



Gráfica 2. Gráfico solar ortográfico de analema durante las 24 horas del día: Puebla, Mex. Fuente: CLIMAPLUS.

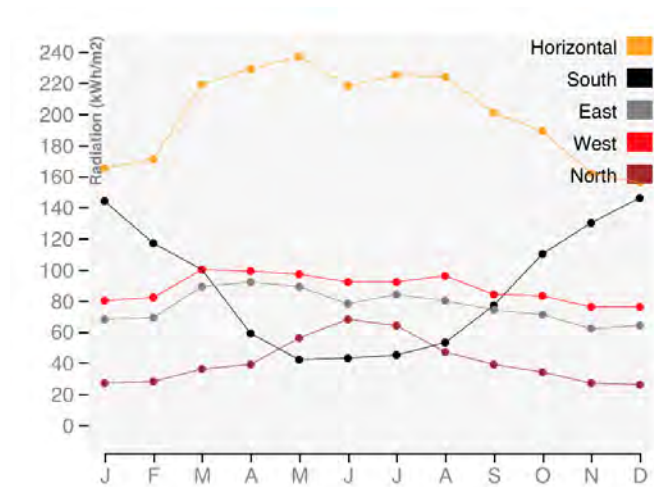
- El azimut y la altitud son los valores en coordenadas que resultan de la posición de un cuerpo celeste en el cielo respecto a un punto específico y en un momento del día.
- La altitud es el ángulo con respecto al plano en el que te encuentras hasta donde se encuentra el Sol.
- El azimut establece la posición del Sol en planta y se mide con respecto al norte de la posición en la que te encuentres en sentido de las manecillas del reloj.
- El analema se refiere al trazo imaginario en forma de “8” que crea el Sol si lo observáramos desde un mismo punto a la misma hora solar y durante todo el año (naranja).
- En esta gráfica se puede apreciar el asoleamiento durante los meses de marzo (gris), junio (negro) y diciembre (amarillo).

Conocer el recorrido solar en un día y punto específico nos permitirá orientar correctamente fachadas y ventanas para un mejor aprovechamiento de la luz natural en el interior. En un caso contrario, se implementarán sistemas de control solar para regular la entrada de luz según se requiera en cada espacio.

Radiación solar

La radiación se refiere a la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esta en menor cantidad a la superficie de la Tierra que la que se tiene en el exterior de la atmósfera y cambia dependiendo de la hora, el día y el mes. Es decir, cambia cuando varían las condiciones atmosféricas (nubosidad, vapor de agua, gases, partículas, etc.).

La siguiente gráfica muestra los niveles de radiación solar (en cada mes del año) que reciben las fachadas verticales, sin obstrucción, orientadas hacia los cuatro puntos cardinales. Así, se observa lo siguiente:



Gráfica 3. Niveles de radiación mensuales para diferentes orientaciones de superficie: Puebla, Mex. Fuente: CLIMAPLUS.

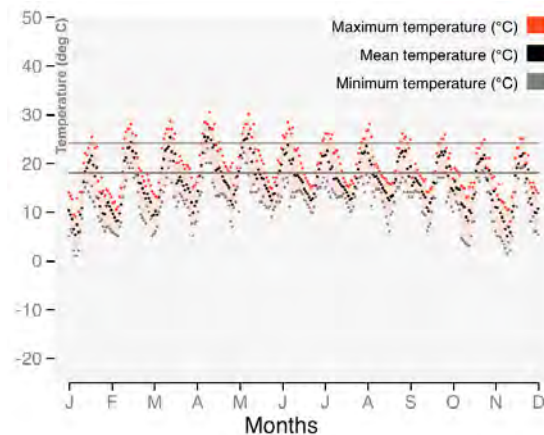
- La mayor variación de radiación se encuentra al sur con valores altos durante el invierno (~140 kWh/m²) y bajos durante en el verano (~40 kWh/m²), esto debido a la

inclinación cambiante del Sol. Mientras que al este y oeste se presenta en general constante a lo largo de todo el año (70-100 kWh/m²). La orientación norte recibe la menor cantidad de radiación solar durante casi todo el año (30-70 kWh/m²).

Esto nos ayudará para aprovechar de mejor manera la energía solar para la correcta aplicación de cualquier tecnología que funcione a base de esta energía. Conociendo, además, el mínimo de energía necesaria para su funcionamiento y la mínima que necesita para alcanzar su máxima eficiencia.

Temperaturas máxima, mínima y media

La temperatura del ambiente es el estado en el que se manifiesta en el aire y en los cuerpos en forma de calor. En la siguiente gráfica se muestran los máximos, medios y mínimos de temperatura en °C por cada mes del año. Las líneas grises horizontales representan la temperatura ideal o de confort térmico que en Puebla se debiera procurar durante el año.



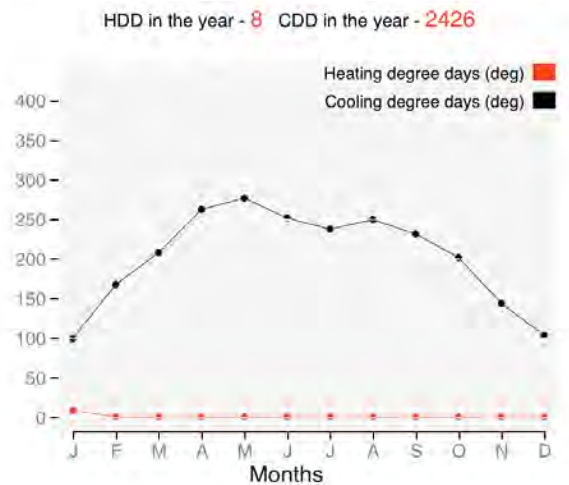
Gráfica 4. Temperaturas máxima, mínima y media por mes del año: Puebla, Mex. Fuente: CLIMAPLUS.

- La temperatura promedio está representada en la gráfica por los puntos negros que muestran temperaturas bajas durante el invierno y el resto del año acercándose más al confort térmico.

- Se buscará siempre regular la temperatura interior por medios naturales y sustentables que nos permitan mantener un adecuado confort térmico en los espacios, según se requiera respecto a la temperatura exterior.

Grados-días de calefacción y enfriamiento

HDD (Heating Degree Days) y CDD (Cooling Degree Days) son las diferencias aritméticas de la temperatura que existe en el ambiente menos la temperatura de confort que se requiere y se utiliza para conocer el tiempo del día en el que se requieren equipos de calefacción o enfriamiento.



Gráfica 5. Días de calefacción y enfriamiento por mes del año: Puebla, Mex. Fuente: CLIMAPLUS.

- HDD es una medida que cuantifica la demanda de energía necesaria para calentar el interior. Por el contrario, CDD se refiere a la medida que cuantifica la energía necesaria para enfriar el interior.
- Un sistema de calefacción pasiva implica el mayor ahorro energético posible para calentar un edificio. Existen diferentes sistemas de calefacción pasiva como: sistemas de radiación que utilizan energía geotérmica o biomasa (CHP) y la casa pasiva (o casa solar).

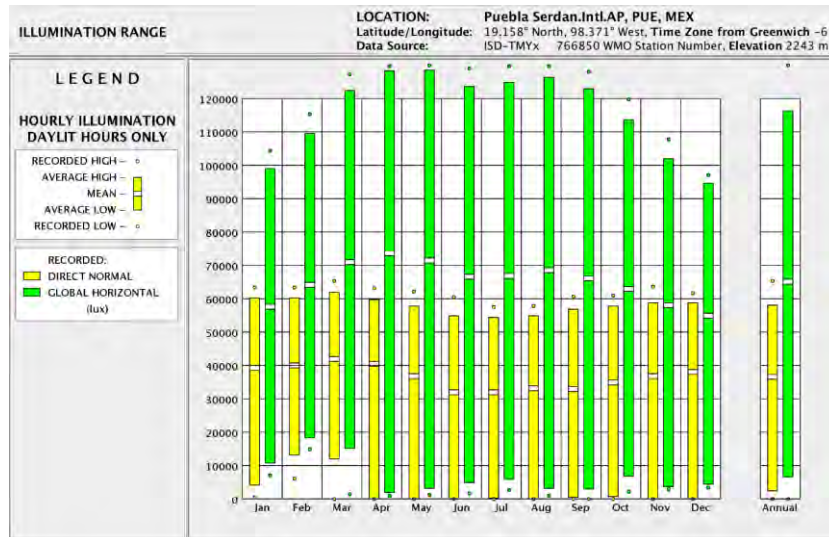
- Un sistema de enfriamiento pasivo es una tecnología o característica de diseño desarrollada para enfriar un edificio sin energía o con un mínimo de consumo energético. Algunos sistemas de enfriamiento pasivo son: refugio de enfriamiento pasivo, disipador de calor, fachadas inteligentes, la capacidad calorífica del edificio y barreras de calor radiante.

El análisis de HDD y CDD nos permite evaluar si se requerirán sistemas de calefacción o enfriamiento en un sitio determinado. En Puebla, de acuerdo a la temperatura de confort requerida en el interior respecto a la temperatura exterior, la calefacción será prácticamente innecesaria durante todo el año. Sin embargo, el enfriamiento del espacio será necesario principalmente durante el verano.

Valores de iluminancia de luz natural

La luz natural es una combinación de toda la radiación solar exterior que se recibe durante el día. Esta radiación o flujo radiante se compone de ondas electromagnéticas que transfieren energía por unidad de tiempo, y que son emitidas por el Sol. La radiación solar comprende aproximadamente un 7% en longitudes de onda menores de 380 nm (región ultravioleta), un 47% en longitudes de onda comprendida entre 380 nm y 780 nm (región visible) y un 46% en longitudes por encima de 780 nm (región infrarroja). La magnitud que cuantifica la radiación solar que llega a la tierra es la irradiancia y mide la potencia que por unidad de superficie alcanza la Tierra (W/m^2).

Como se puede apreciar, dentro del gran espectro solar, una pequeña porción es denominada luz visible y comprende las longitudes de onda entre los 380 nm hasta los 760 nm, aproximadamente. La característica particular de esta porción de energía es que puede ser absorbida por los fotorreceptores del sistema visual humano, iniciando así el proceso de la visión. Comprender la naturaleza de la luz natural es crucial para aprovechar su rango visible en la iluminación interior y para disminuir riesgos importantes, como la introducción de radiación infrarroja en forma de calor.

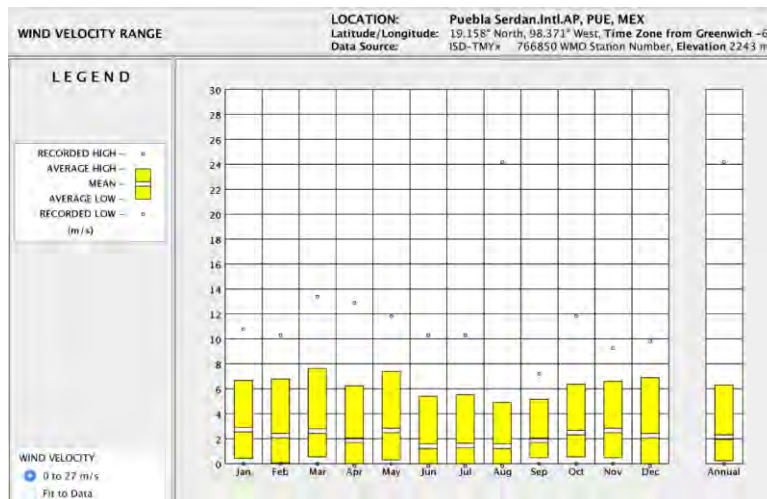


Gráfica 6. Valores de Iluminancia de luz diurna según el mes del año: Puebla, Mex. Fuente: Climate Consultant.

- La irradiancia horizontal global, indicada en color verde en la gráfica, es la radiación de onda corta recibida por una superficie horizontal al suelo.
- La irradiancia normal directa es la radiación solar que viene en línea recta por la posición del sol en el cielo y está indicada en color amarillo en la gráfica.

Velocidad del viento

El viento puede ser estudiado por su dirección y por su velocidad. La velocidad del viento mide la componente horizontal del desplazamiento del aire en un punto y momento específico.



Gráfica 7. Velocidad del viento: Puebla, Mex. Fuente: Climate Consultant.

- En la gráfica, el máximo mensual está representado por el punto gris y los promedios son el espaciado en blanco entre la barra amarilla. Se puede observar una velocidad promedio anual aprox. De 2.5 m/s y son valorados como vientos suaves aquellos entre 2 - 5 m/s.

7.5 Pautas de diseño pasivo para clima templado, Puebla, México.

Los modelos de confort nos ayudan para anticipar las respuestas térmicas, fisiológicas y psicológicas de las personas dentro de un clima específico. En base al modelo de confort ASHRAE Standard 55 and Current Handbook of Fundamentals model y por medio de Climate Consultant se obtuvieron algunas estrategias de diseño específicas para el clima de Puebla que contribuirán al confort de los ocupantes:

- Este es uno de los climas más cómodos, por lo tanto, sombree para evitar el sobrecalentamiento, ábrase a la brisa en verano y use la ganancia solar pasiva en invierno.
- Las casas pasivas tradicionales en climas templados usaban una construcción liviana con losa en el nivel y paredes operables y espacios al aire libre sombreados.

- Para la calefacción solar pasiva, coloque la mayor parte del área acristalada hacia el sur para maximizar la exposición al sol en invierno, pero diseñe voladizos para dar sombra total en verano.
- Proporcione acristalamiento de doble panel de alto rendimiento (Low-E) en el oeste, norte y este, pero despejado en el sur para obtener la máxima ganancia solar pasiva.
- Organice el plano de planta para que el sol de invierno penetre en los espacios de uso diurno con funciones específicas que coincidan con la orientación solar.
- Los espacios al aire libre soleados y protegidos del viento pueden extender las áreas de estar en climas fríos (solárium estacionales, patios cerrados, patios o verandas).
- Los árboles (de coníferas y de hojas caducas) no deben plantarse frente a ventanas solares pasivas, pero están bien a más de 45 grados de cada esquina.
- El plano de planta largo y estrecho del edificio puede ayudar a maximizar la ventilación cruzada en climas templados y cálidos y húmedos.

7.6 Anteproyecto

7.6.1 Conceptualización

El propósito primario de este edificio de vivienda vertical es integrar al diseño las estrategias sustentables y criterios de confort interior. Esto a partir de un objeto arquitectónico que surja de manera intrínseca en el contexto dado y generando un ambiente natural que establezca una conexión dual para el usuario entre la arquitectura y su entorno.

Se definió al contexto inmediato de la Ruta Quetzalcóatl como un “entorno disociado”. Definiendo así al conjunto de elementos naturales, culturales y arquitectónicos que conviven de una forma desordenada, y que, a su vez cada uno de ellos forman parte primordial de la esencia del sitio. De esta forma, el edificio Quetzalcóatl Norte se conceptualizó como un **“eje de composición dual entre arquitectura y entorno”** con el propósito de generar un elemento de asociación para los componentes del sitio actual sin competir o alterar su esencia. Esta idea rectora de diseño se representó visualmente a través de un collage conceptual, donde se plasma esta interacción entre el entorno construido y el entorno contextual por medio de

una estructura formal y en función a un eje resaltado que dirige la composición de los espacios. (Imagen 21).

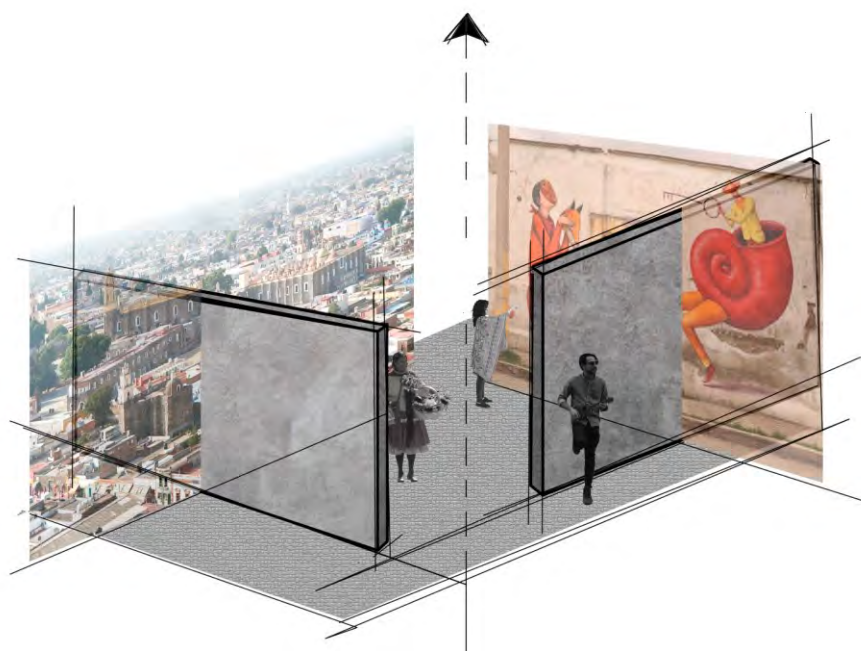
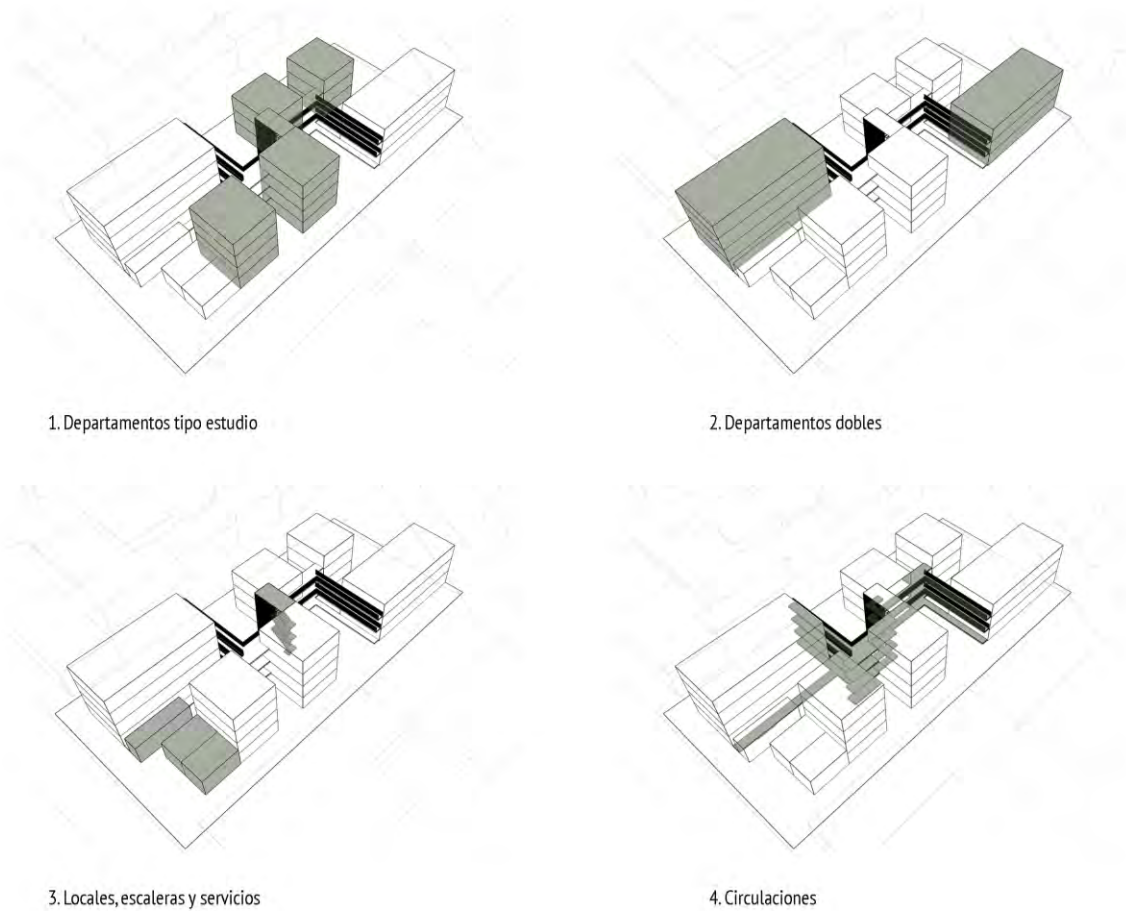


Imagen 21. Collage conceptual, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.



Esquema 9. Zonificación Edificio Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.

7.6.2 Zonificación

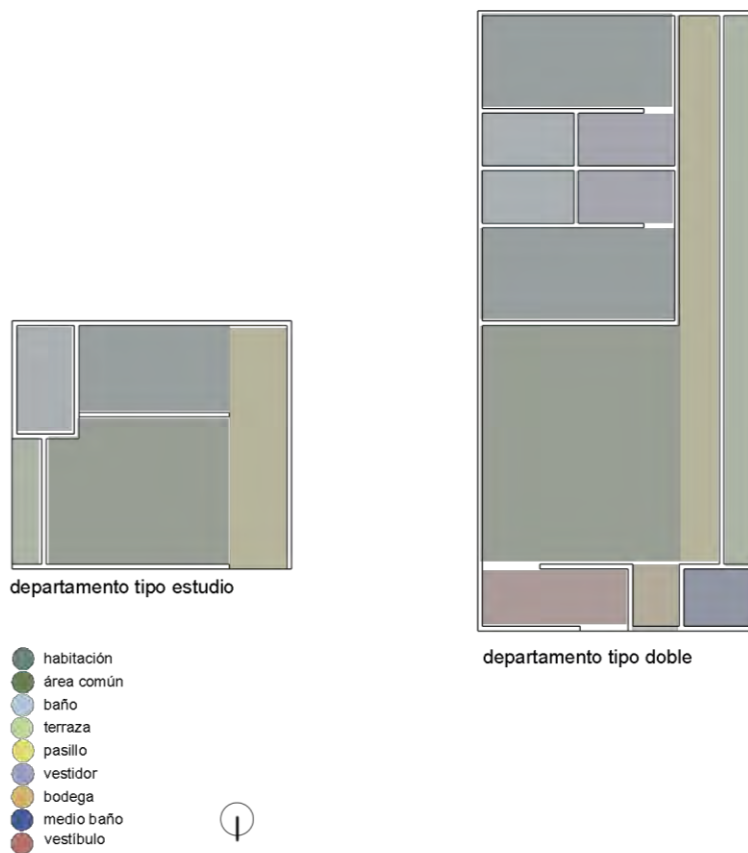
Se distribuyen de manera longitudinal 4 torres de departamentos incorporados por medio de corredores de circulación. Se diseñaron áreas verdes que rodean las torres y cuyo objetivo es aprovechar las visuales e implementar estrategias de aprovechamiento de asoleamiento y vientos dominantes. Asimismo, se contempló un remetimiento de 4 m respecto a las colindancias y de 3 m de frente.

La zonificación de espacios interiores fue rigida de acuerdo con el tipo de actividad a realizar, horarios de ocupación y la orientación óptima para su confort térmico y aprovechamiento de la luz natural. Además, se buscó establecer una conexión de actividades

por medio del desarrollo sucesivo de espacios y la independencia de otras actividades por medio de espacios de circulación.

Para el departamento tipo estudio se buscó crear una configuración amplia para un programa arquitectónico básico que optimizara la ocupación del espacio. Un elemento importante en la configuración es la terraza, que funciona como extensión del espacio interior y al mismo tiempo establece una unión con el exterior.

Para el departamento doble se optó por una configuración jerárquica de espacios que se presten a una ocupación versátil según las necesidades del usuario y con una planta larga y estrecha para favorecer la ventilación cruzada y la iluminación. La terraza que acompaña de manera longitudinal la unión de espacios representa un elemento importante en la composición al ser una extensión del espacio interior al exterior.



Esquema 6 Zonificación departamentos, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.

7.6.3 Partido arquitectónico

En las siguientes dos imágenes se pueden apreciar las transformaciones dimensionales, sustractivas y aditivas que se hicieron a los principales volúmenes del proyecto. Se estableció como eje principal el volumen de las escaleras que servirá como conexión entre los diferentes niveles y pasillos de circulación. De un volumen inicial se sustrajeron 4 m del perímetro para el acceso vehicular y 3 m al centro para el volumen de las escaleras y así obtener 4 torres de departamentos de 12m de altura (Imagen 22).

Posteriormente, a los volúmenes correspondientes a la orientación sur se les restó una altura de 3 m para evitar la generación de sombras sobre los volúmenes del norte. El desplazamiento de los cuerpos obtenidos cede un mejor aprovechamiento de las orientaciones que podrán ser aprovechadas al interior para asegurar el confort de los ocupantes. La separación entre volúmenes da lugar a espacios de áreas verdes como envolvente de la composición arquitectónica e integración del entorno natural. Finalmente se integró el espacio de servicios del edificio y de los locales (Imagen 23).

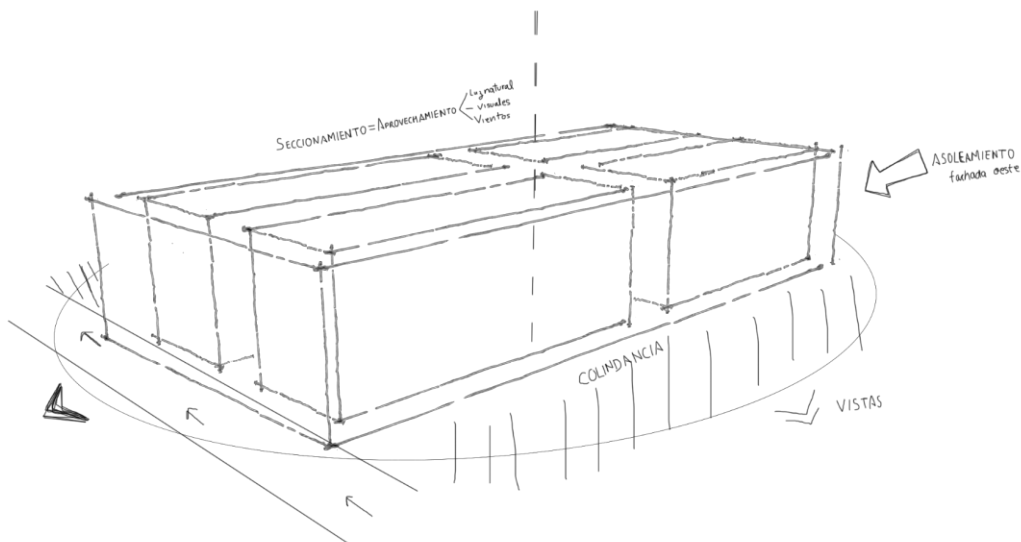


Imagen 22. Primer boceto de diseño, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.

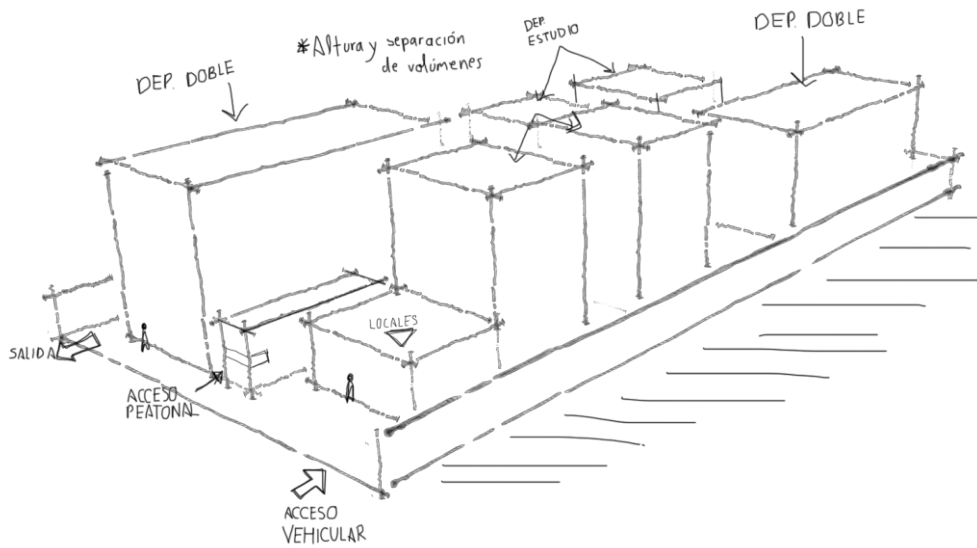


Imagen 23. Segundo boceto de diseño, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.

7.6.4 Criterios de diseño sustentable aplicados al partido arquitectónico

Análisis de asoleamiento volumétrico

Debido a que la fachada sur del terreno representa la extensión más angosta del mismo con 32 m de longitud, se buscó implementar estrategias de diseño que permitieran el mejor aprovechamiento posible de la incidencia solar proveniente del sur y a su vez que garantizaran el aprovechamiento y control apropiado del asoleamiento proveniente de las fachadas longitudinales este y oeste. De esta forma se modeló en forma y dimensión la volumetría atendiendo al recorrido solar. “La volumetría de un edificio debe estar relacionada con el clima en que éste se encuentre emplazado y el programa de uso que contiene. Para esto el arquitecto debe tener claridad acerca de si el edificio busca conservar el calor dentro de sí o disiparlo al ambiente.” (CITEC UBB, 2012)

Por medio del modelado 3D en Rhinoceros y un análisis a partir de ClimateStudio, se obtuvieron simulaciones de las proyecciones de sombra que generaría el edificio de acuerdo con sus diferentes modificaciones para así obtener la forma y dimensión volumétrica más conveniente. Se optó por realizar el análisis durante el solsticio de invierno, ya que es la fecha

del año que se tiene la mayor inclinación del sol, por lo que presenta la proyección de sombras más crítica del año.

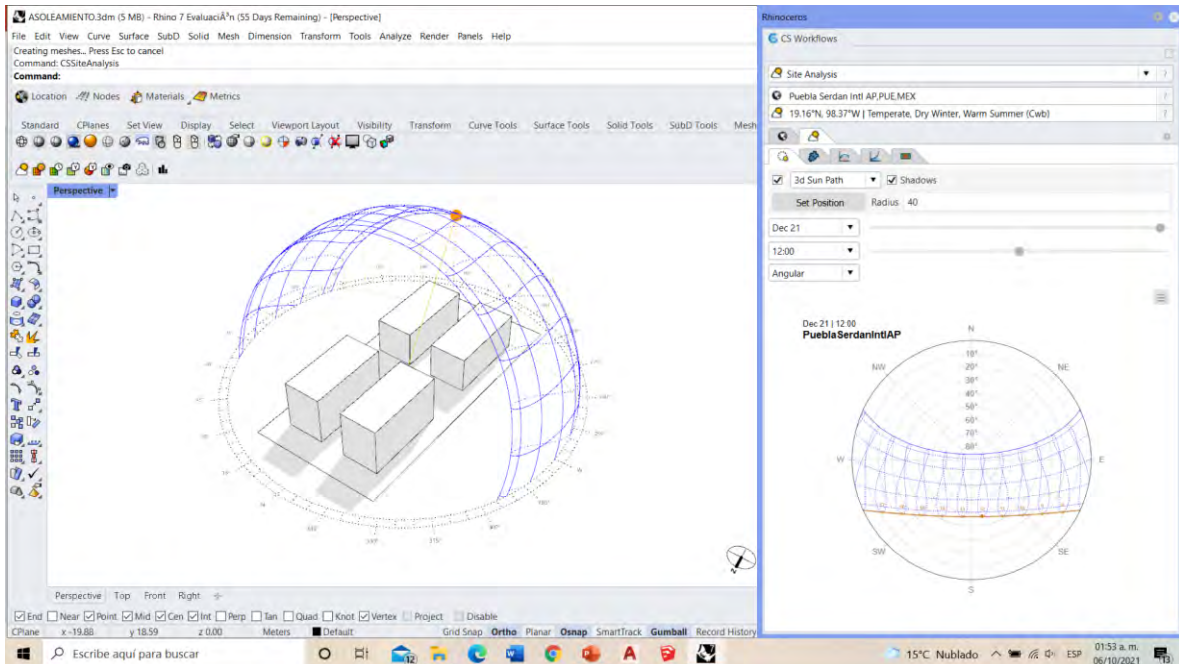
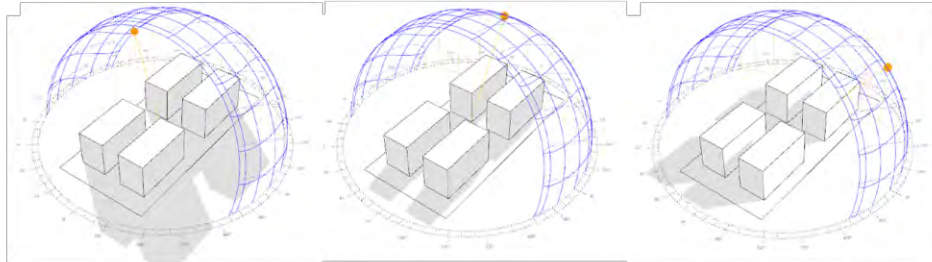


Imagen 24. Interfaz ClimateStudio con Rhino, análisis de asoleamiento. Fuente: Elaboración propia a partir de Rhino.

Se consideraron 4 diferentes propuestas de volumetría. En el primer caso, los 4 volúmenes son de las mismas dimensiones y alturas. En el segundo, los volúmenes al sur se reducen 3 m en su altura; esto para favorecer el asoleamiento sobre los edificios del norte, de modo que no se les prive de las horas sol, sobretodo durante el invierno. Para la tercera propuesta, se desplazaron 10m al frente los volúmenes correspondientes a la orientación este; lo que permite un mejor aprovechamiento de iluminación natural y de la ventilación cruzada para los 4 volúmenes. La volumetría final, resulta de disociar dos de los volúmenes atendiendo a la composición de la tipología del departamento tipo estudio y favoreciendo las orientaciones norte-sur para ambos volúmenes resultantes del seccionamiento. Además, se integró el volumen correspondiente al espacio de los locales orientándolo hacia el norte con una menor altura para no alterar la proyección de sombras ya resultante.

VOLUMETRÍA 1

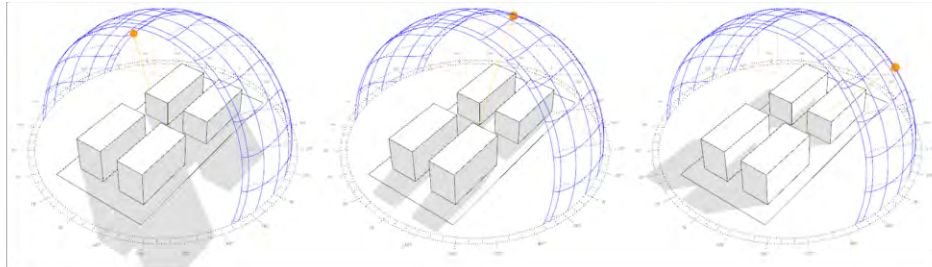


9:00 hrs.

12:00 hrs.

13:00 hrs.

VOLUMETRÍA 2

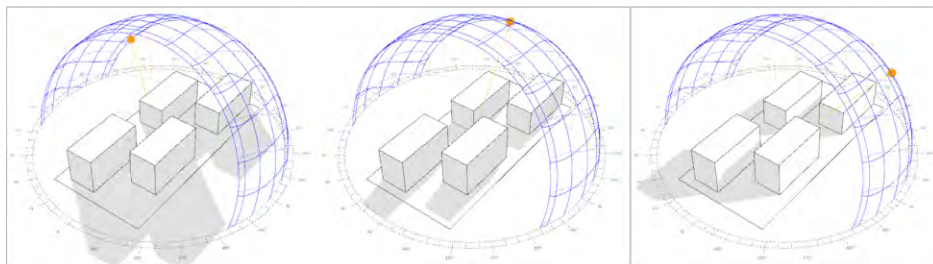


9:00 hrs.

12:00 hrs.

13:00 hrs.

VOLUMETRÍA 3

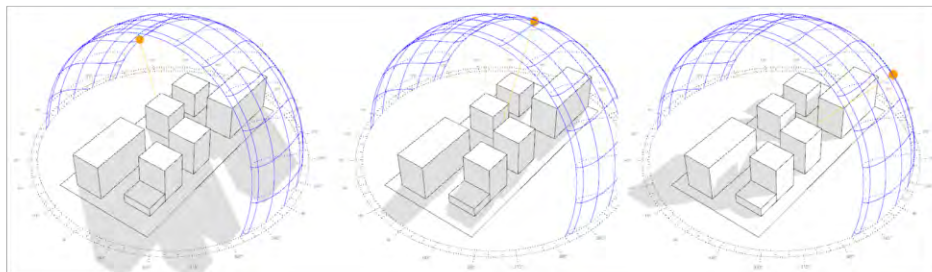


9:00 hrs.

12:00 hrs.

13:00 hrs.

VOLUMETRÍA 4



9:00 hrs.

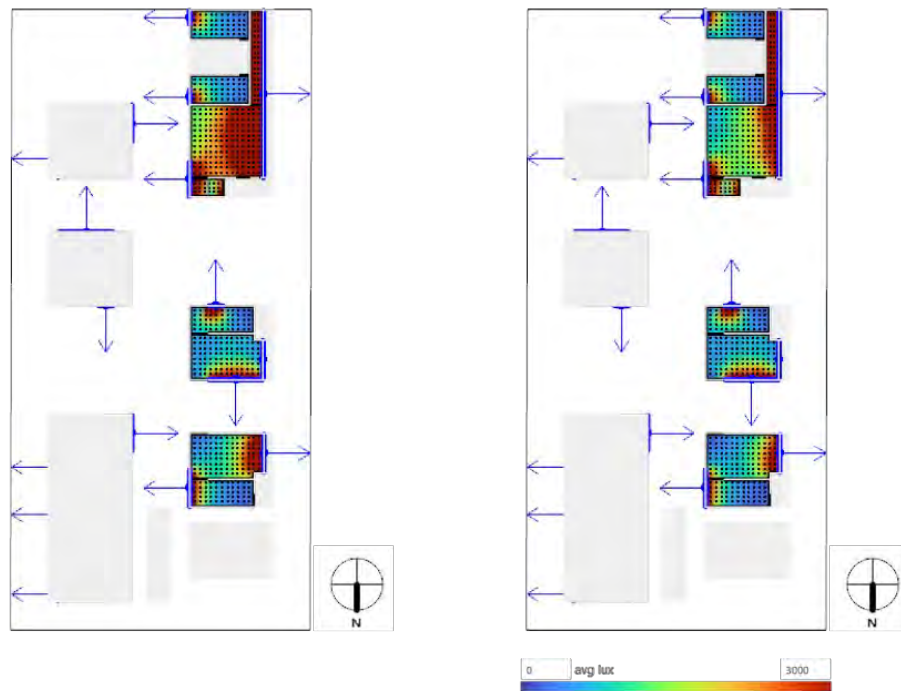
12:00 hrs.

13:00 hrs.

Esquema 11. Análisis de aseamiento en 4 propuestas de volúmenes distribuidos en el terreno, durante el solsticio de invierno. Fuente: Elaboración propia a partir de ClimateStudio.

Implementación de sistema de control solar

Para minimizar el aumento de calor solar y para el control de deslumbramiento en los espacios interiores más concurridos de la fachada oeste, se implementó un sistema de celosía vertical de perfiles PTR de 10 cm x 5 cm, rotadas a 20° en sentido horario. Por medio del modelado 3D en Rhinoceros y un análisis con ClimateStudio se realizó una comparación con la implementación de este sistema de control solar. Dicho análisis fue planteado sobre uno de los días más soleados en el solsticio de verano a las 14:30 hrs. En la imagen izquierda se muestra el exceso de deslumbramiento y radiación producido sin la celosía; en cambio, en la imagen derecha se observa el mejoramiento de las condiciones de confort térmico y lumínico con la implementación de la celosía.



Esquema 12. Análisis comparativo con sistema de control solar. Fuente: Elaboración propia a partir de ClimateStudio.

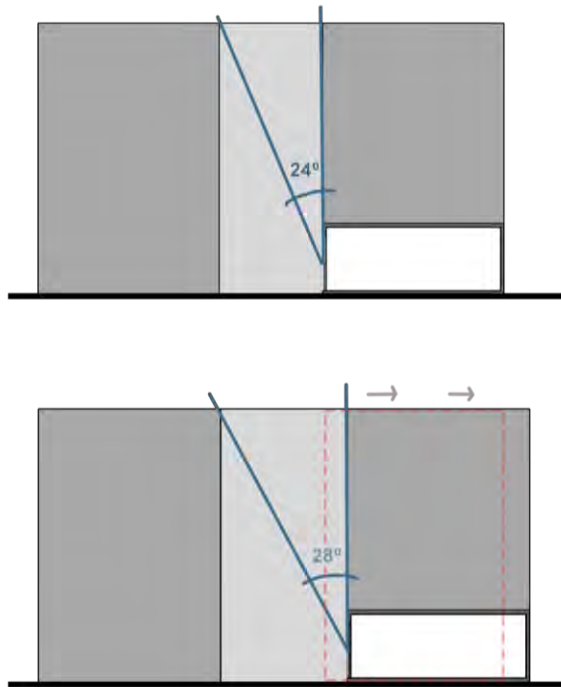
Prueba de viabilidad de la iluminación natural

Se implementó la prueba de viabilidad de la iluminación natural con el fin de garantizar una adecuada provisión de luz natural interior, entre los volúmenes de departamentos tipo estudio. En esta prueba, se verifica que la ventana ubicada entre los volúmenes sea de las dimensiones adecuadas en proporción al área del muro que la contiene (*window-to-wall-ratio* WWR) y respecto al ángulo de cielo (θ). La prueba consiste en aplicar la siguiente relación:

$$WWR > \frac{2000}{\theta}$$

Se optó por hacer el análisis para el caso más crítico: la ventana de la planta baja, ya que es la apertura que presentaría una mayor obstrucción. Originalmente, el diseño contemplaba un área de ventana de $5.75 \text{ m} \times 2.40 \text{ m} = 13.80 \text{ m}^2$; considerando el área total del muro que la contiene es $6.85 \text{ m} \times 2.80 \text{ m} = 19.18 \text{ m}^2$, se obtiene una proporción ventana-muro (WWR) de 71.95%. En esta primera propuesta, el ángulo de cielo fue de 24° (ver imagen superior del siguiente esquema), por lo que aplicando la fórmula anterior se obtiene: $2000/24^\circ = 83.3\%$. Estas condiciones incumplían la prueba de viabilidad de la iluminación: $71.95 < 83.3$.

En base a estos resultados, se hicieron las adecuaciones pertinentes para pasar la prueba de la viabilidad de la luz natural. En resumen, uno de los volúmenes fue desplazado 1 m para conseguir un ángulo de cielo de 28° , de tal manera que la fórmula arroja el siguiente resultado: $2000/28^\circ = 71.42\%$; entonces, $71.95 > 71.42$.



Esquema 13. Prueba de viabilidad de iluminación natural. Fuente: Elaboración propia.

Uno de los volúmenes es desplazado 1 m para conseguir un ángulo de cielo de 28°, de tal manera que se supera la **prueba de viabilidad de iluminación natural**: $2000/28^{\circ}=71.42\%$; entonces, $71.95 > 71.42$.

7.7 Proyecto arquitectónico

7.7.1 Propuesta de proyecto final

La composición arquitectónica resultante, se compone de estacionamiento para 21 autos, dos espacios para locales, 14 departamentos tipo estudio y 7 departamentos tipo doble distribuidos verticalmente sobre 4 torres de 3 y 4 niveles enlazadas por un eje de circulación vertical. Dicha composición se acompaña y favorece mutuamente a través del entono natural generado y del propio contexto urbano de Cholula.

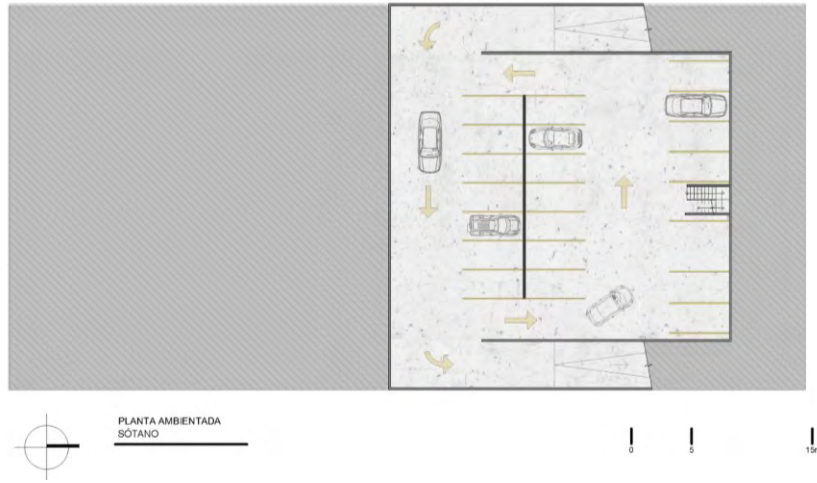


Imagen 25. Planta ambientada Sótano, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 26. Planta ambientada planta baja, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 27. Planta ambientada Nivel 1, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 28. Planta ambientada Nivel 2, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 29. Planta ambientada Nivel 3, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 30. Planta ambientada Azotea, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 31. Ilustración Fachada Norte, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 32. Vista en contexto, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.

7.7.2 Simulación de iluminación natural

La versión actual de LEED, LEED v4.1, tiene como objetivo mejorar el nivel de los estándares de construcción para atender la eficiencia energética, la conservación del agua, la selección del sitio, la selección de materiales, la iluminación natural y la reducción de desechos. En el apartado de iluminación natural, se tiene como fin garantizar la calidad del ambiente interior mediante acciones que permitan conectar a los ocupantes del edificio con el exterior, reforzar los ritmos circadianos y reducir el uso de la iluminación eléctrica al introducir luz natural en el espacio. Los requerimientos para alcanzar este mejoramiento del ambiente interior son proporcionar dispositivos de control de deslumbramiento manuales o automáticos para todos los espacios ocupados regularmente.

Spatial Daylight Autonomy (2–3 puntos)

Consiste en demostrar, a través de simulaciones anuales por medio de programas computacionales, que se logra una autonomía de luz diurna espacial de 300 lux en 50% de las horas de ocupación (sDA300 / 50%) de al menos 55%, 75% o 90% de los espacios, utilizando el área del piso habitualmente ocupada. Un sDA de hasta 55% corresponde a 2 puntos LEED y el alcanzar un mínimo de 75% corresponde a 3 puntos LEED. En general, las cuadrículas de cálculo sDA no deben tener más de 60 cm de separación y estar distribuidas a lo largo del área habitualmente ocupada a una altura del plano de trabajo, a 76 cm sobre el piso terminado (a menos que se defina lo contrario).

Además de la métrica anterior, para la certificación LEED se debe demostrar que se logra una exposición anual a la luz solar 1000, 250 h (ASE1000,250) de no más del 10% utilizando el área del piso habitualmente ocupada que está iluminada por el día según las simulaciones sDA300/ 50%. Es importante mencionar que, aunque LEED ya ha incorporado esta métrica, sigue siendo estudiada para quedar correctamente establecida. Esto debido a que estudios han mostrado que la métrica ASE es muy dependiente del algoritmo de cálculo, de la resolución de la cuadrícula de estudio, de los parámetros de Radiance preestablecidos, etc.

Para la simulación de luz natural, primero se realizó el modelado 3D del edificio, incluyendo la ubicación precisa de ventanas y la definición de los materiales de los elementos arquitectónicos y acristalamientos (valores de reflectancia y transmitancia). Asimismo, se establecieron las superficies de plano de trabajo con cuadrículas de 60 cm² sobre las cuáles se proyectarán los resultados. Una vez definidos estos términos, se procedió a la simulación anual de Daylight Availability, métrica que se basa en sDA sDA300 / 50%, pero que, adicionalmente, señala qué áreas consiguen poca o nula iluminación natural. Este ejercicio de simulación se calculó para el nivel 1 del edificio, mediante el programa ClimateStudio y con la información del archivo climático EPW de Puebla.

MATERIAL	LAYER	REFLECTANCIA
Concrete Exterior Wall 3	Muros exteriores	38
White Wall	Muros interiores	83.40
Grey Ceramic Title floor	Pisos	53.82
Clear Solarban 70 (3)	Ventanas	(Transmitancia) 63.2
Aluminium Brown Window Mullion	Celosía	7.66
Laminate door	Puertas	9.22

Tabla 5. Valores de reflectancia y transmitancia. Fuente: Elaboración propia.

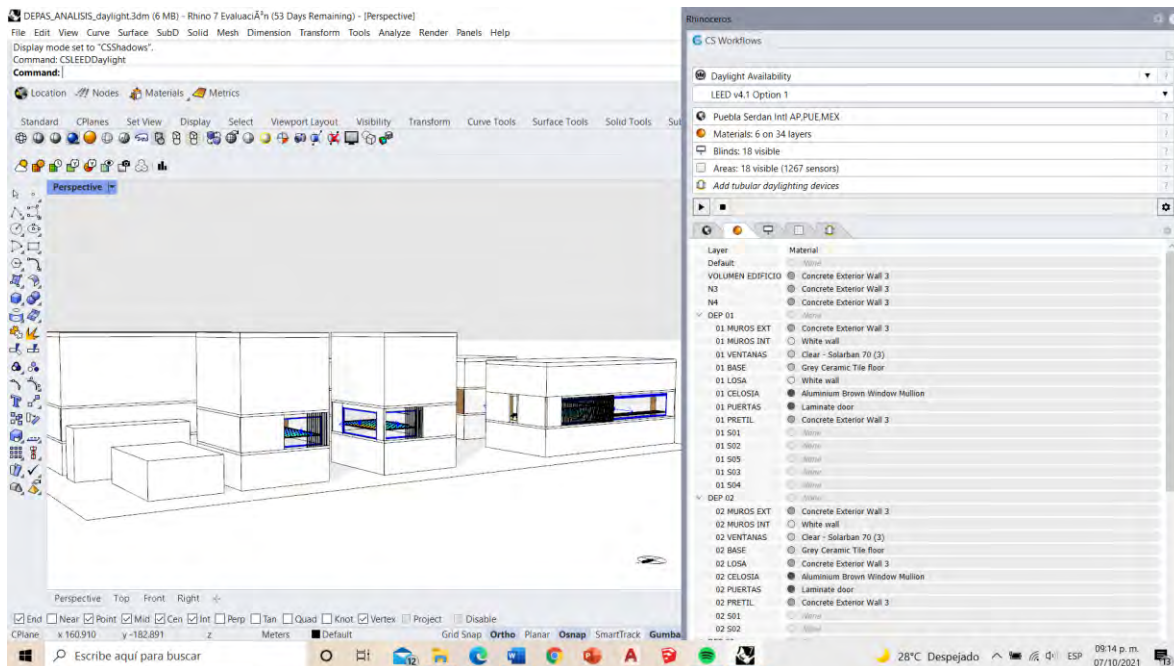


Imagen 33. Interfaz Rhino con ClimateStudio, Daylight Availability. Fuente: Elaboración propia a partir de ClimateStudio.

ESPACIO	ALTURA DE PLANO DE TRABAJO
Pasillos	0.40 m
Vestíbulos	0.40 m
Áreas comunes	0.80 m
Habitaciones	0.70 m

Tabla 6. Altura de planos de trabajo, Daylight Availability. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la simulación indican un porcentaje de sDA300/ 50% de 78.1%, obteniendo así 3 puntos LEED y garantizando la buena iluminación por medios naturales, en la mayoría de los espacios concurridos en el interior del edificio. La exposición anual a la luz solar (ASE1000,250) muestra un 21.8% reflejado principalmente en las áreas cercanas a la terraza en cada uno de los departamentos, donde anteriormente se había planteado el uso de un sistema de control solar, por lo que adicionalmente se propone considerar la vegetación como amortiguador/protección solar. La iluminancia promedio generada en el interior anualmente es de 830 lux. Adicionalmente, la simulación indica que las condiciones de

iluminación natural en el interior permitirían que las cortinas se mantuvieran abiertas el 80.8% del tiempo anualmente, permitiendo visuales al exterior y los beneficios de la provisión de la luz natural en los ocupantes.

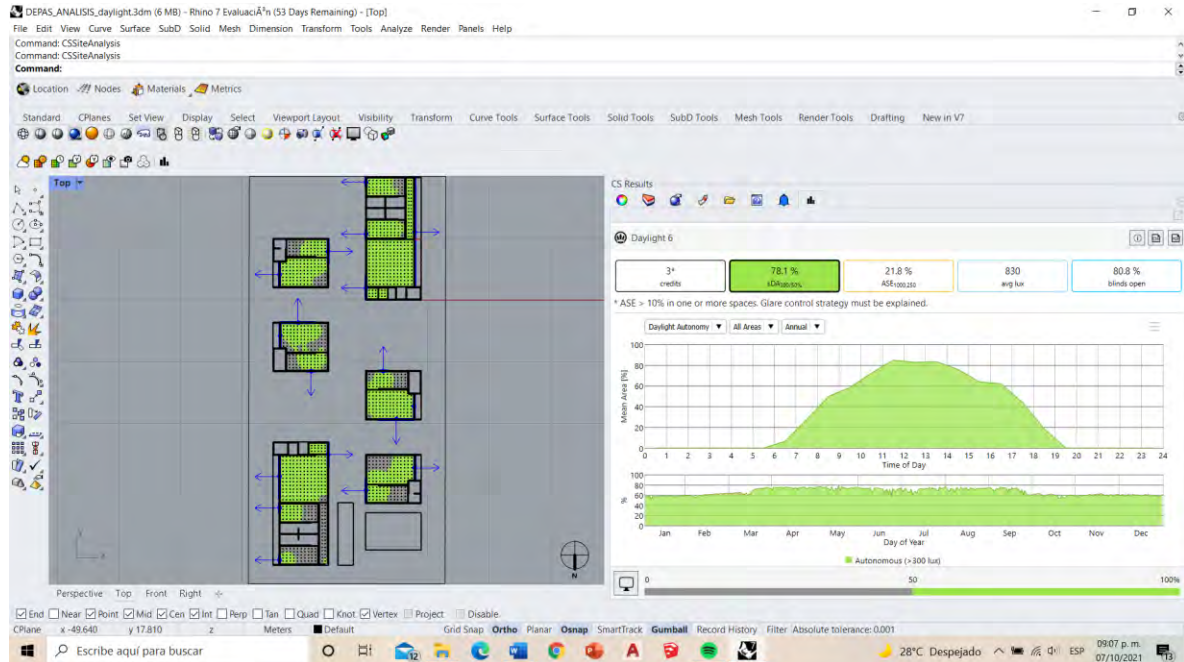


Imagen 34. Interfaz Rhino con ClimateStudio, sDA300/ 50%. Fuente: Elaboración propia a partir de ClimateStudio.

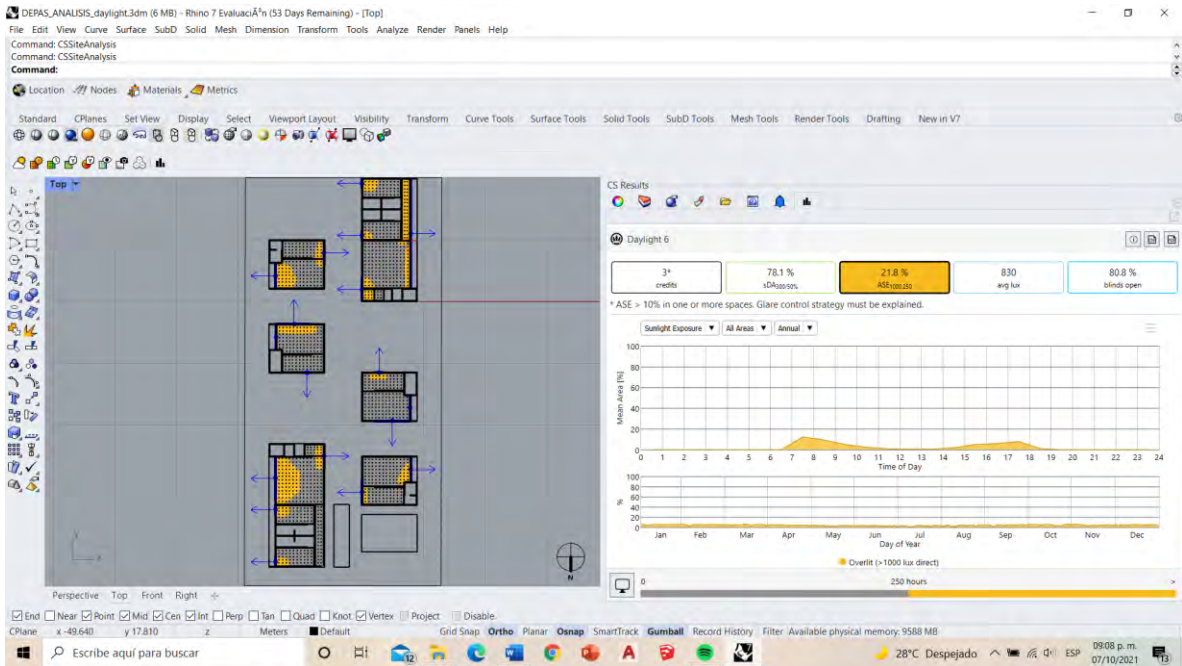


Imagen 35. Interfaz Rhino con ClimateStudio, ASE1000,250. Fuente: Elaboraci3n propia a partir de ClimateStudio.

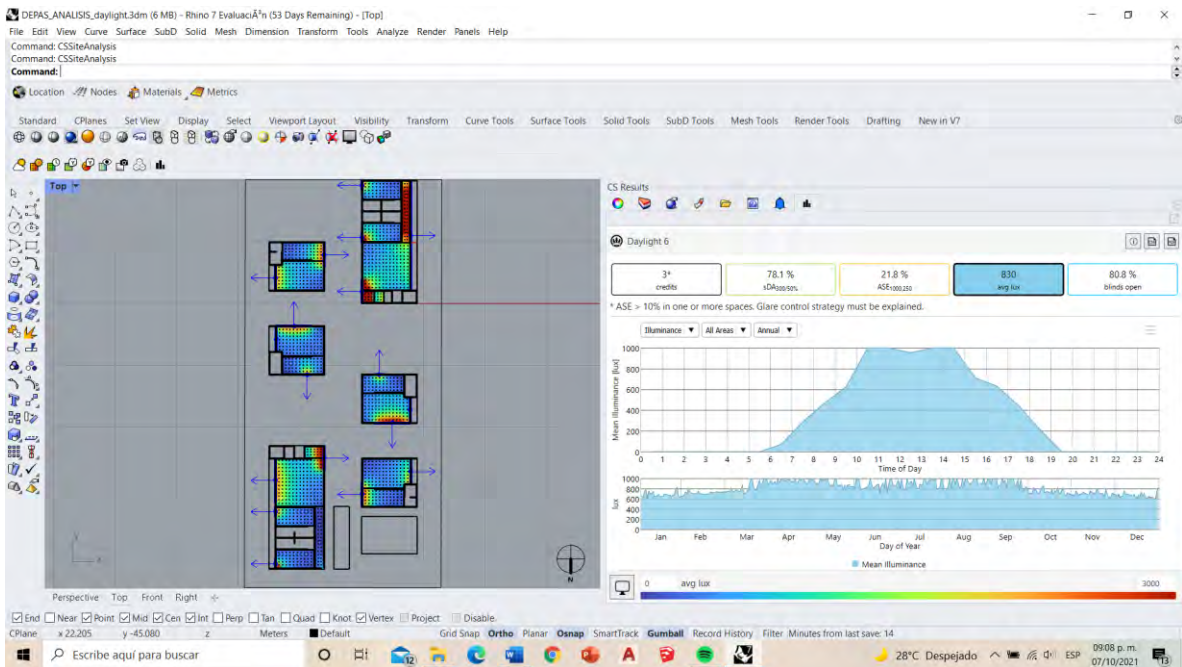


Imagen 36. Interfaz Rhino con ClimateStudio, avg lux. Fuente: Elaboraci3n propia a partir de ClimateStudio.

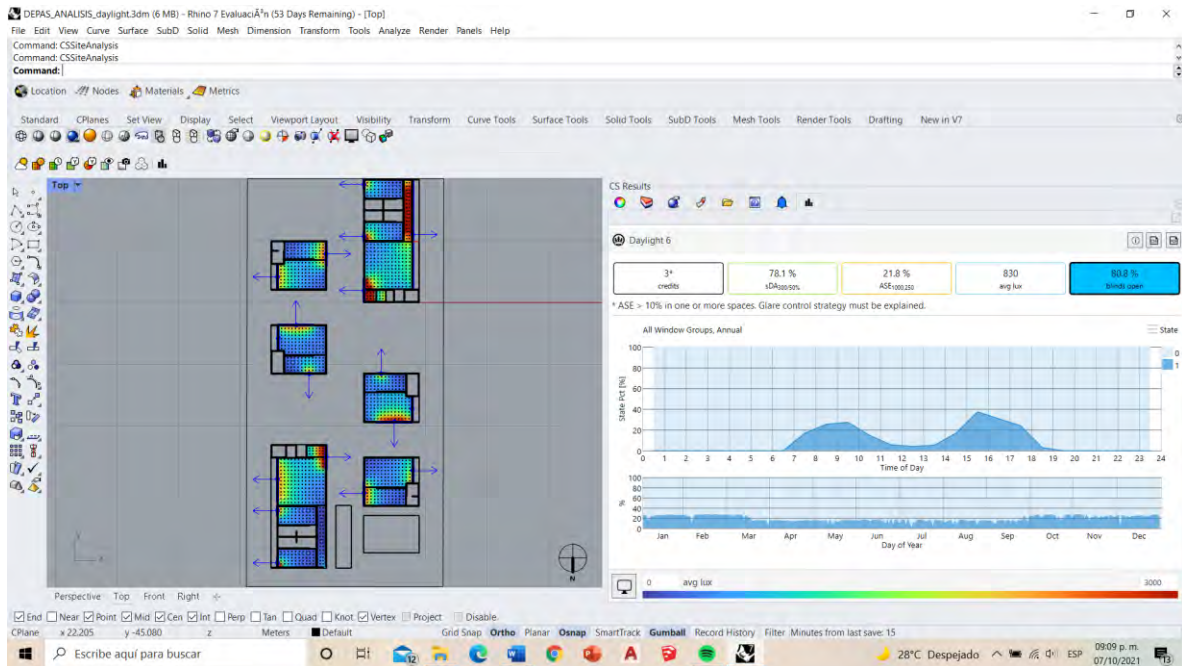


Imagen 37. Interfaz Rhino con ClimateStudio, blinds open. Fuente: Elaboración propia a partir de ClimateStudio.

Los resultados de la simulación indican que los objetivos de iluminación natural se alcanzaron satisfactoriamente, obteniendo 3 puntos LEED:

- sDA300/ 50% de 78.1%
- ASE1000,250 del 21.8%
- La iluminancia promedio de 830 lux.
- Cortinas abiertas el 80.8%

Esto ratifica la importancia del análisis climático previamente realizado; además, confirma la importancia de la aplicación de estrategias de planeación consciente y diseño pasivo desde las etapas iniciales del proyecto arquitectónico.

7.8 Diseño de Interiores

7.8.1 Intenciones de diseño interior

Se buscó principalmente permitir una conexión del desarrollo interior con el entorno natural, la integración de espacios sociales, la optimización del espacio por medio del mobiliario y la creación de un ambiente saludable mediante la circulación de aire puro, iluminación y ventilación naturales.

Para el departamento **tipo estudio** se propone un espacio práctico con solo muro divisorio de 1.90 m de altura entre la habitación y el área pública, que permita el flujo de aire y la iluminación por reflexión entre los espacios. El área común se desarrolla de manera longitudinal extendiéndose al espacio de la terraza como un punto de conexión al entorno natural. Un mueble fijo para la cocina con espacio de lavandería para la optimización del espacio y de las instalaciones ubicadas en un solo muro, una isla para delimitar el espacio de la cocina en un área compacta y acogedora. (Imagen 38)

Para el departamento **tipo doble** se propone un área social abierta resaltando las vistas hacia el exterior, un mueble de cocina con espacio de lavandería y una isla para la división del espacio y circulaciones. Un pasillo que conduce hacia el área privada del departamento que consta de dos habitaciones independientes de entre sí, con las mismas dimensiones, vestidor y baño completo. (Imagen 39)

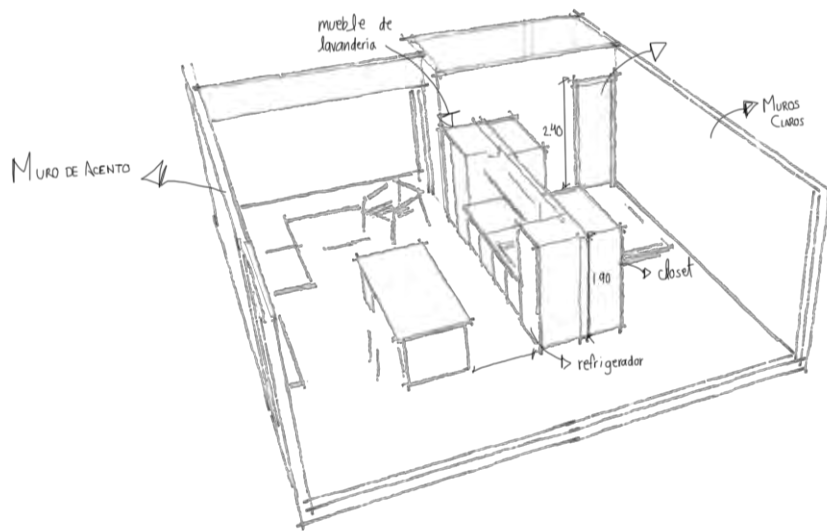


Imagen 38. Boceto departamento estudio, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.

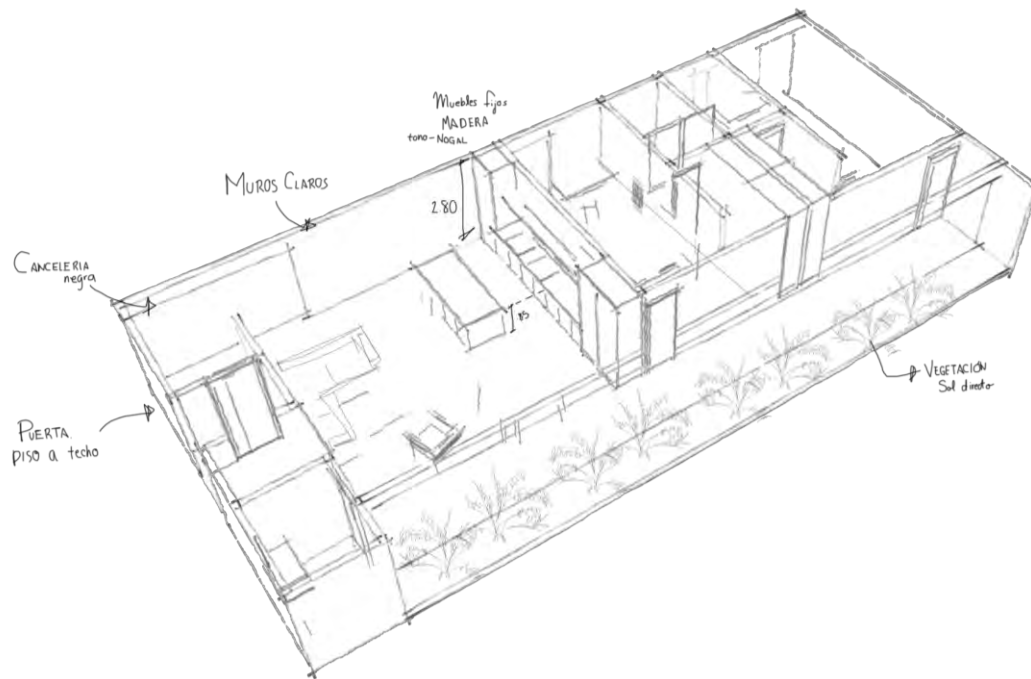


Imagen 39. Boceto departamento doble, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.

7.8.2 Moodboard de materiales

Se buscó componer un ambiente suave y natural con la incorporación de materiales naturales y aparentes de textura ligeramente rugosa en tonos mate, la perceptibilidad de la madera tono nogal de forma simple en el mobiliario, acentos de color en la vegetación y muros, telas de lana en tonos crema y grises claros, accesorios artesanales y elementos decorativos simples.

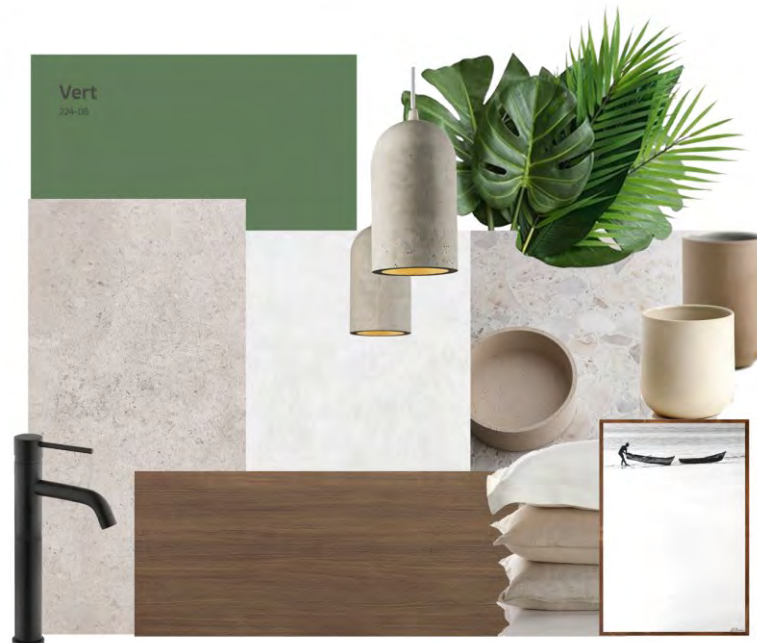


Imagen 40. Moodboard de materiales, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.

1.8.3 Propuesta final de diseño interior

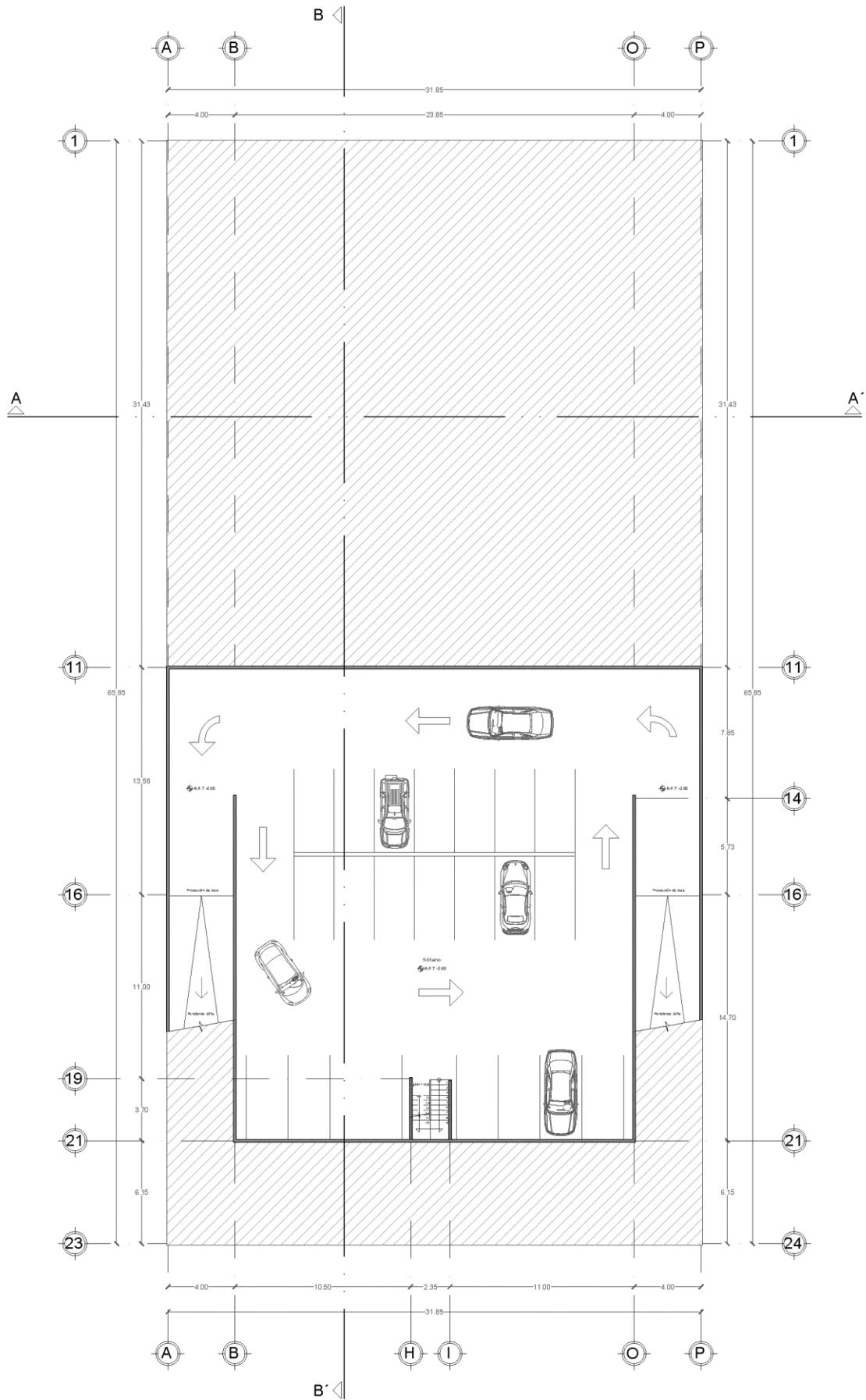


Imagen 41. Isométrico departamento estudio, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.

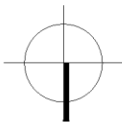


Imagen 42. Isométrico departamento doble, Quetzalcóatl Norte. Fuente: Elaboración propia.

7.9 Planos arquitectónicos



ORIENTACIÓN



CROQUIS



DIRECCIÓN

Ruta Quetzalcoatl, San Andrés Cholula, Santa Teresa, 72813 San Andrés Cholula, Pue.

PROYECTO

Edificio Quetzalcoatl Norte

SIMBOLOGÍA

- Nivel de piso terminado
- Cambio de nivel

PLANO

Planta arquitectónica
Sótano

CLAVE

ARQ-01

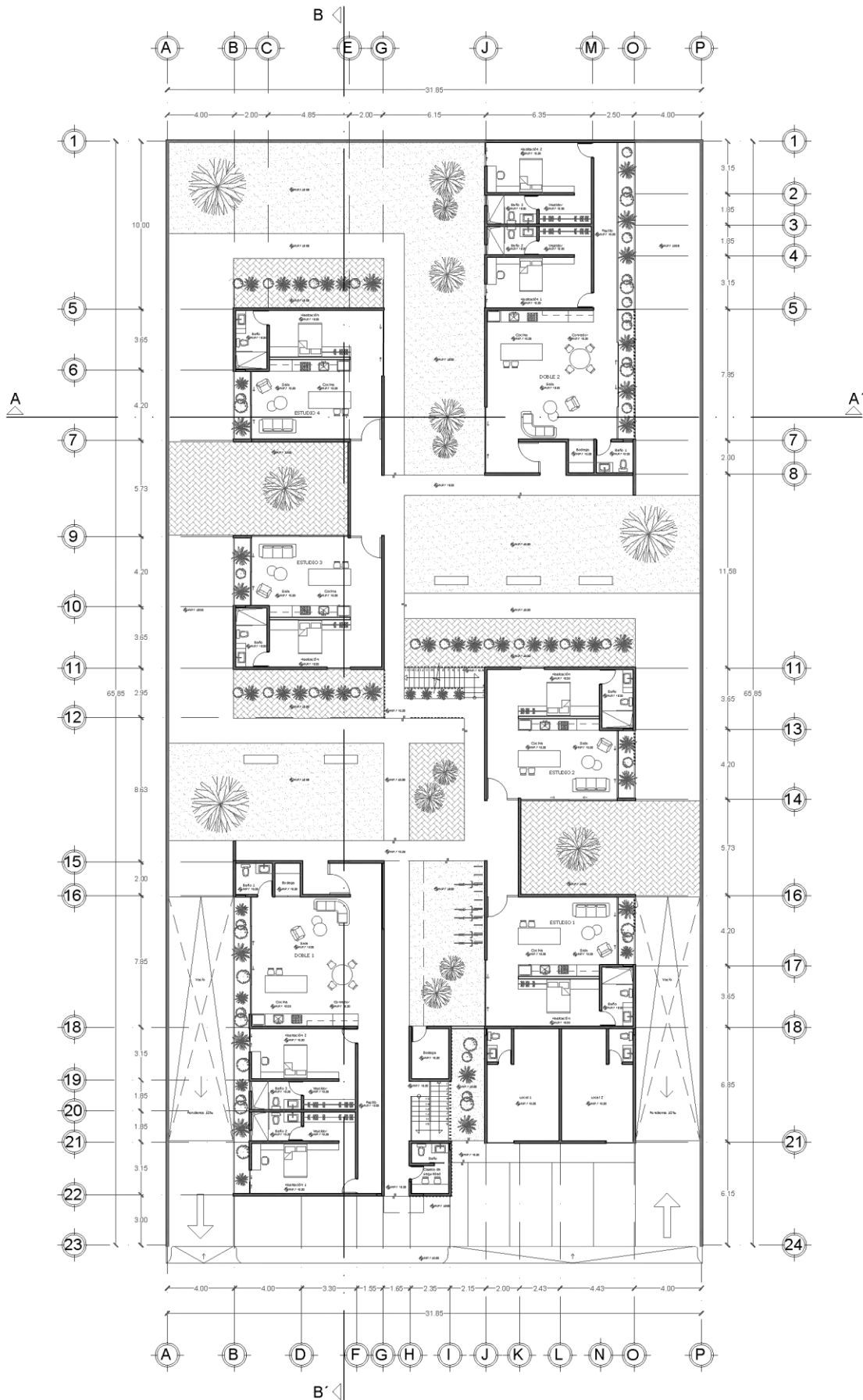
104

ESCALA

1:350



15m



ORIENTACIÓN



CROQUIS



DIRECCIÓN

Ruta Quetzalcoatl, San Andrés Cholula, Santa Teresa, 72813 San Andrés Cholula, Pue.

PROYECTO

Edificio Quetzalcoatl Norte

SIMBOLOGÍA

- Nivel de piso terminado
- Cambio de nivel

PLANO

Planta arquitectónica
Planta baja

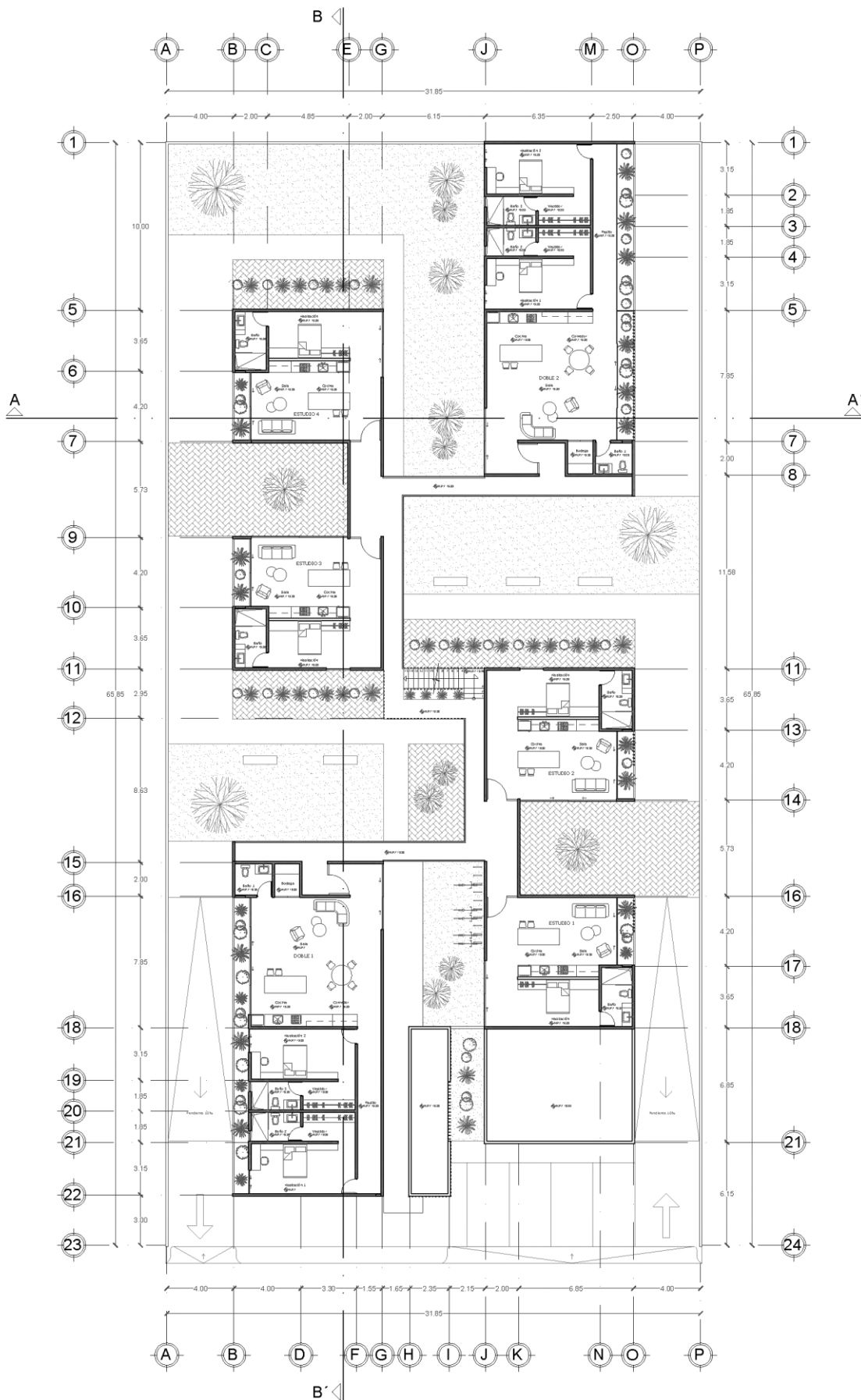
ESCALA

1:350

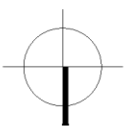
CLAVE

105 **ARQ-02**





ORIENTACIÓN



CROQUIS



DIRECCIÓN

Ruta Quetzalcoatl, San Andrés Cholula, Santa Teresa, 72813 San Andrés Cholula, Pue.

PROYECTO

Edificio Quetzalcoatl Norte

SIMBOLOGÍA

- Nivel de piso terminado
- Cambio de nivel

PLANO

Planta arquitectónica
Nivel 1

ESCALA

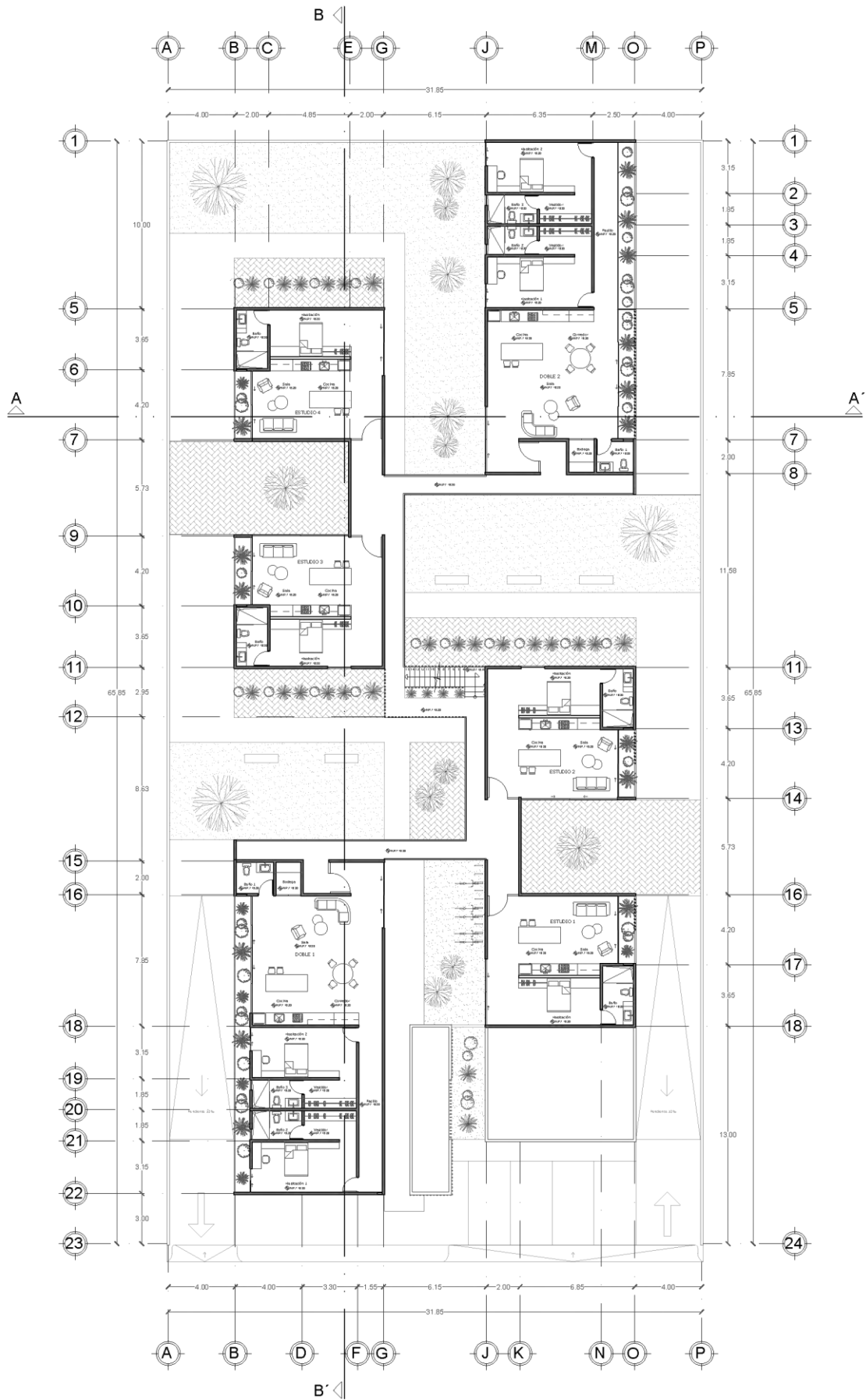
1:350

CLAVE

106

ARQ-03





ORIENTACIÓN



CROQUIS



DIRECCIÓN

Ruta Quetzalcóatl, San Andrés Cholula, Santa Teresa, 72813 San Andrés Cholula, Pue.

PROYECTO

Edificio Quetzalcoatl Norte

SIMBOLOGÍA

- N.P.T. Nivel de piso terminado
- Cambio de nivel

PLANO

Planta arquitectónica Nivel 2

ESCALA

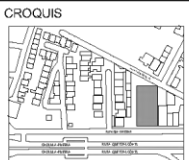
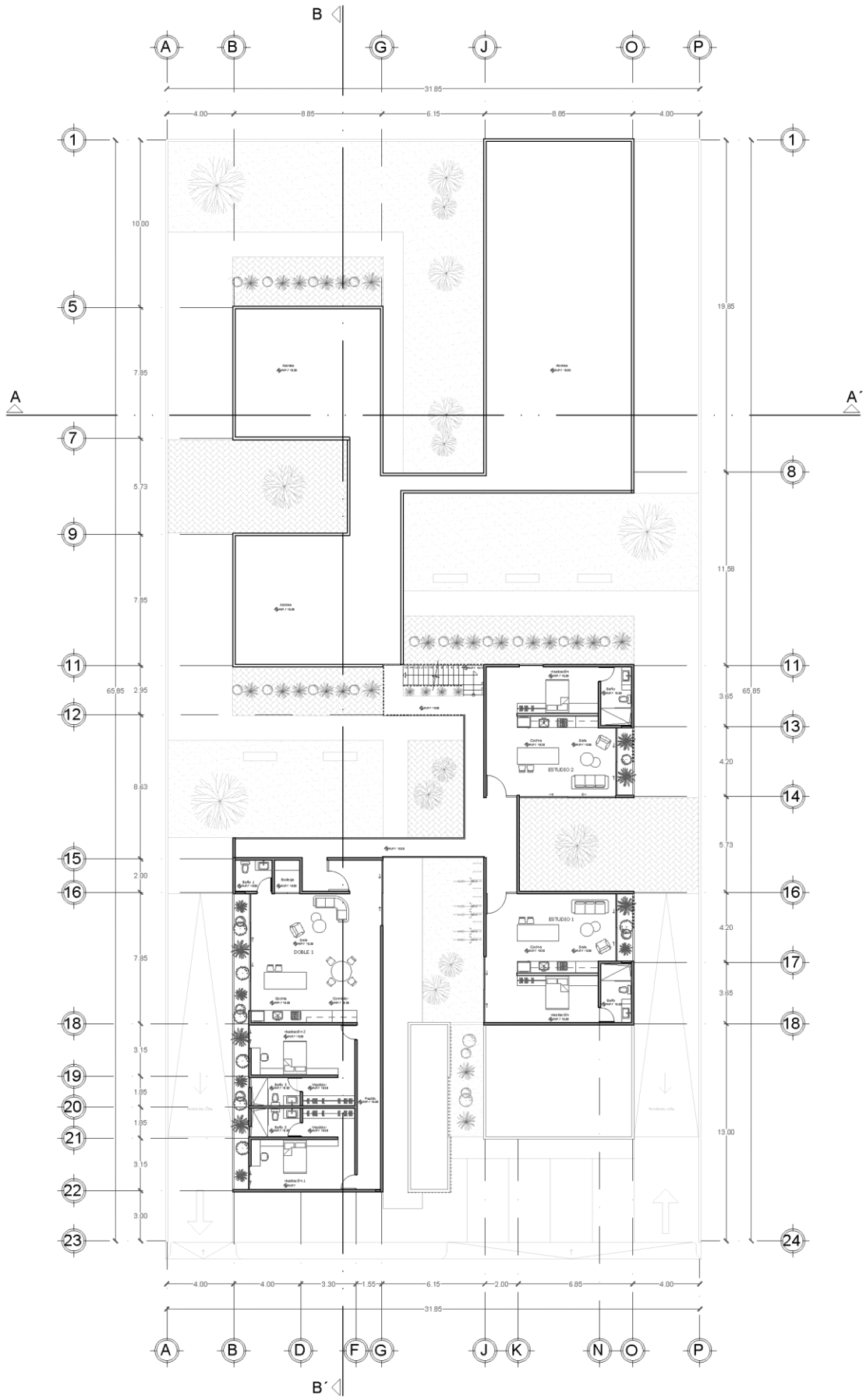
1:350



CLAVE

107

ARQ-04



DIRECCIÓN
 Ruta Quetzalcoatl, San Andrés Cholula, Santa Teresa, 72813 San Andrés Cholula, Pue.

PROYECTO
 Edificio Quetzalcoatl Norte

SIMBOLOGÍA

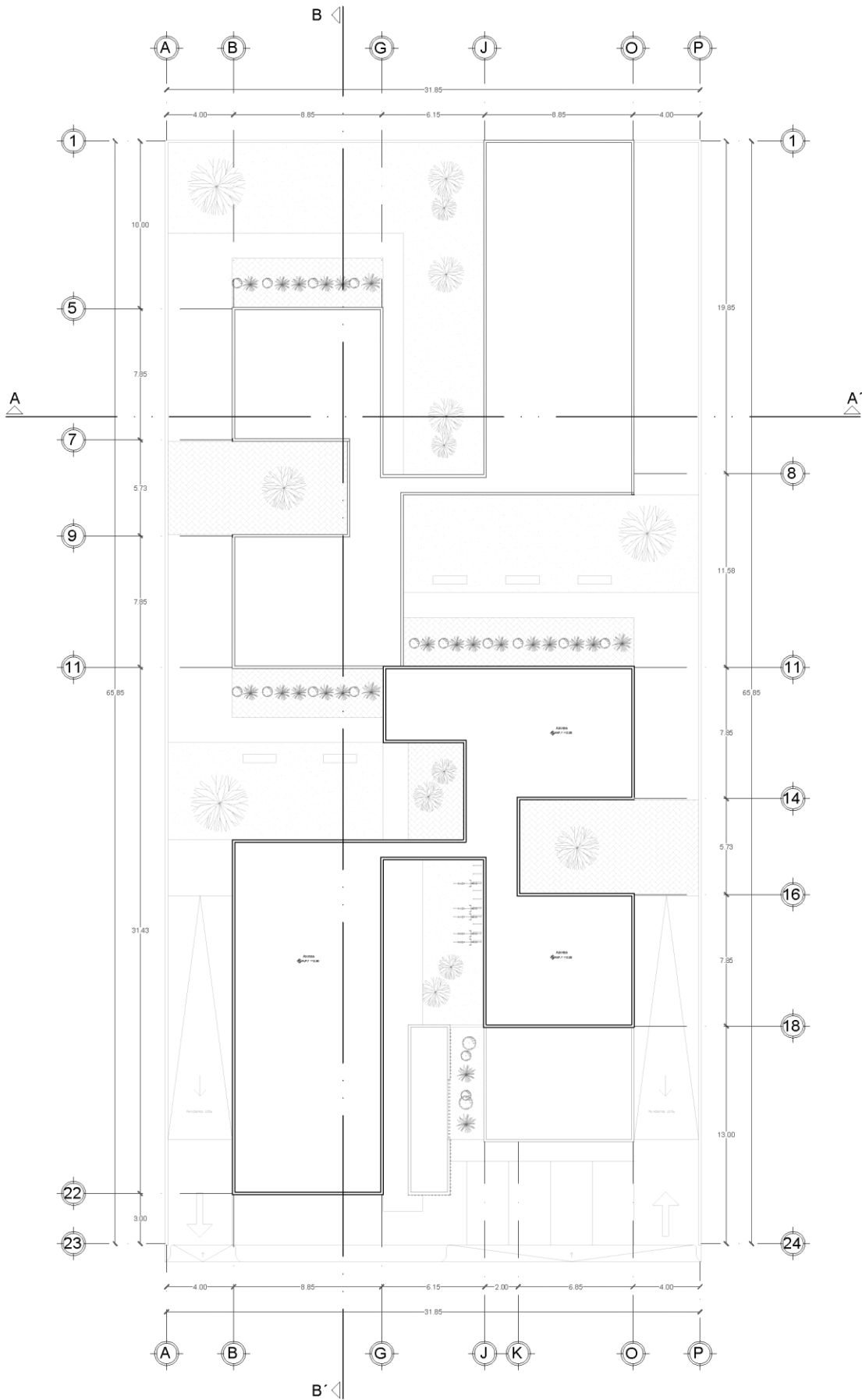
- Nivel de piso terminado
- Cambio de nivel

PLANO
 Planta arquitectónica
 Nivel 3

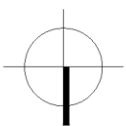
ESCALA
 1:350

CLAVE
 108 ARQ-05





ORIENTACIÓN



CROQUIS



DIRECCIÓN

Ruta Quetzalcoatl, San Andrés Cholula, Santa Teresa, 72813 San Andrés Cholula, Pue.

PROYECTO

Edificio Quetzalcoatl Norte

SIMBOLOGÍA

- N.P.T. Nivel de piso terminado
- Cambio de nivel

PLANO

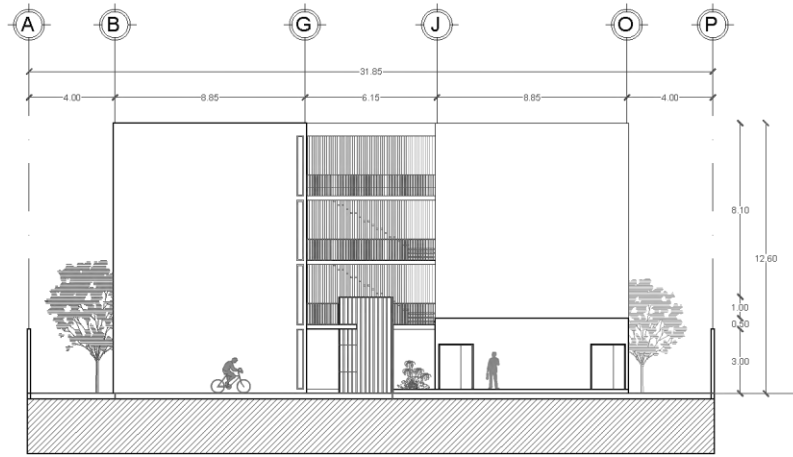
Planta arquitectónica Azotea

ESCALA

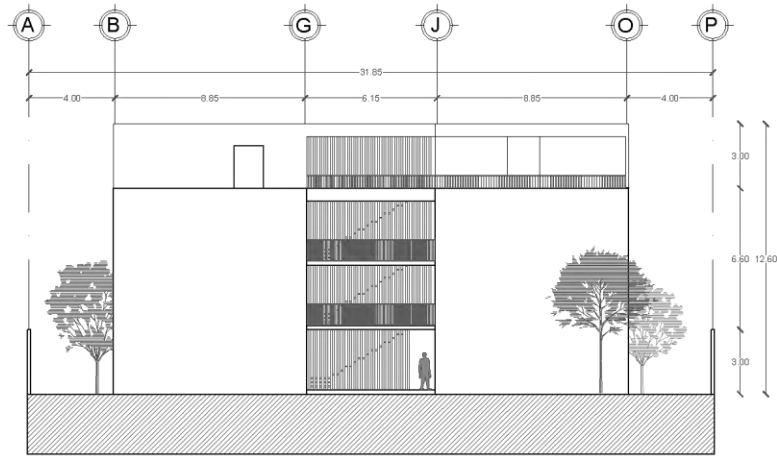


CLAVE

109 ARQ-06

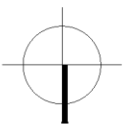


FACHADA NORTE



FACHADA SUR

ORIENTACIÓN



CROQUIS



DIRECCIÓN

Ruta Quetzalcoatl, San Andrés Cholula, Santa Teresa, 72813 San Andrés Cholula, Pue.

PROYECTO

Edificio Quetzalcoatl Norte

SIMBOLOGÍA

- Nivel de piso terminado
- Cambio de nivel

PLANO

Fachadas Norte y Sur

CLAVE

110 ARQ-07

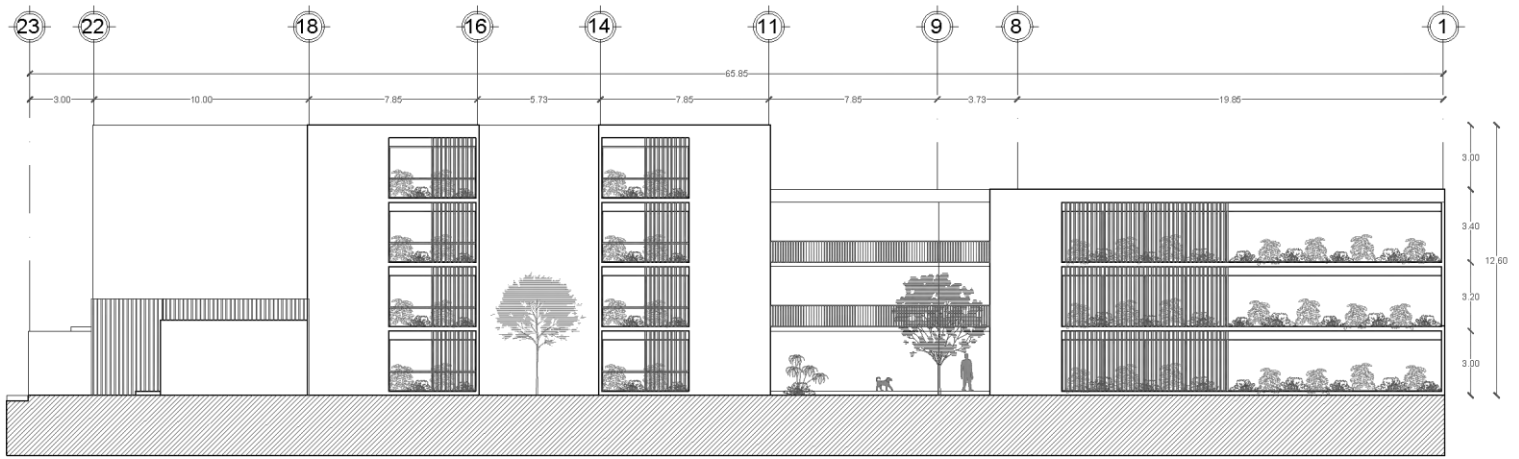
ESCALA

1:350

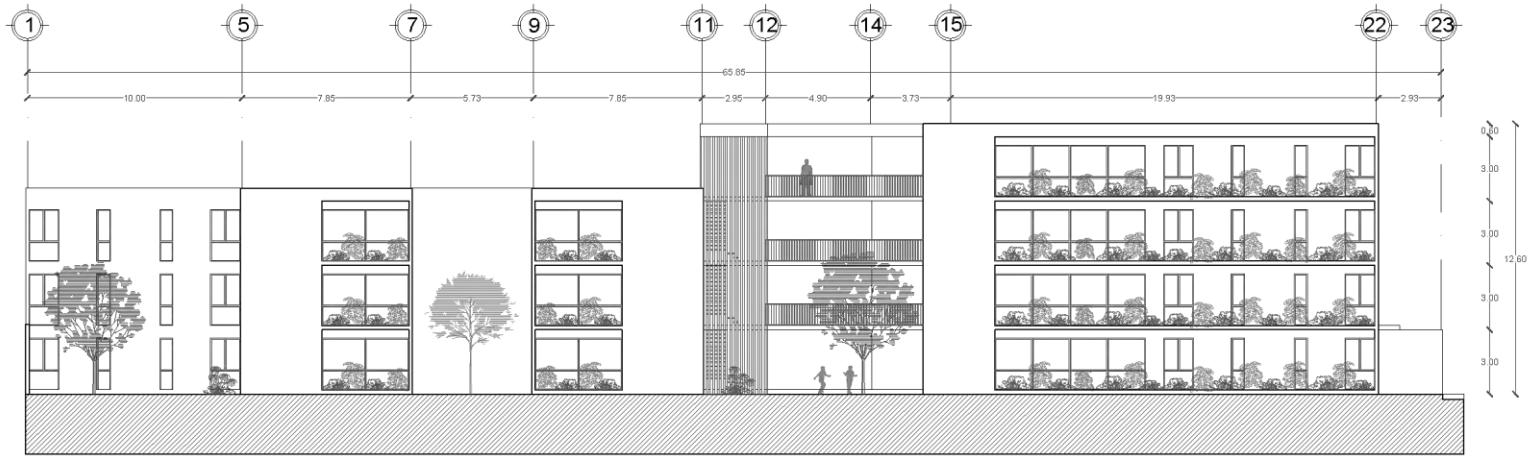
0

5

15m



FACHADA OESTE



FACHADA ESTE

ORIENTACIÓN



CROQUIS



DIRECCIÓN

Ruta Quetzalcóatl, San Andrés Cholula, Santa Teresa, 72813 San Andrés Cholula, Pue.

PROYECTO

Edificio Quetzalcoatl Norte

SIMBOLOGÍA

- Nivel de piso terminado
- Cambio de nivel

PLANO

Fachadas Este y Oeste

CLAVE

111

ARQ-08

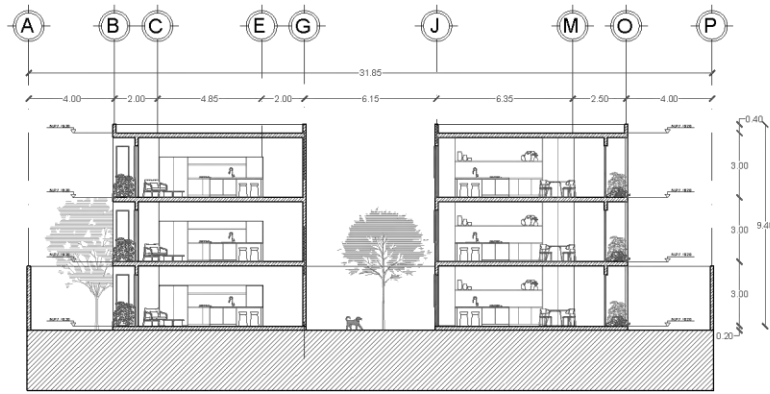
ESCALA

1:350

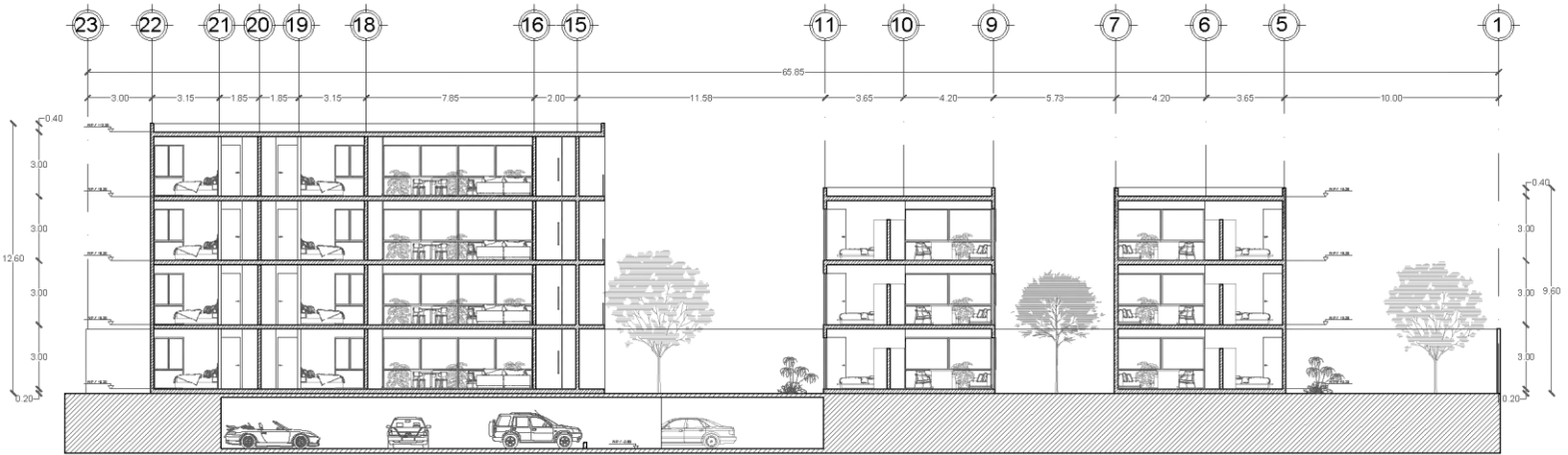
0

5

15m



CORTE A-A'



CORTE B-B'

ORIENTACIÓN



CROQUIS



DIRECCIÓN

Ruta Quetzalcóatl, San Andrés Cholula, Santa Teresa, 72813 San Andrés Cholula, Pue.

PROYECTO

Edificio Quetzalcoatl Norte

SIMBOLOGÍA

- Nivel de piso terminado
- Cambio de nivel

PLANO

Cortes

CLAVE

112 ARQ-09

ESCALA

1:350

0

5

15m

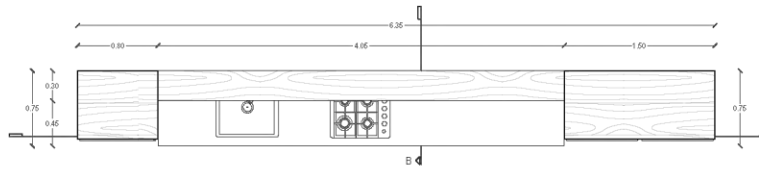
7.10 Planos de detalles

CAR-01

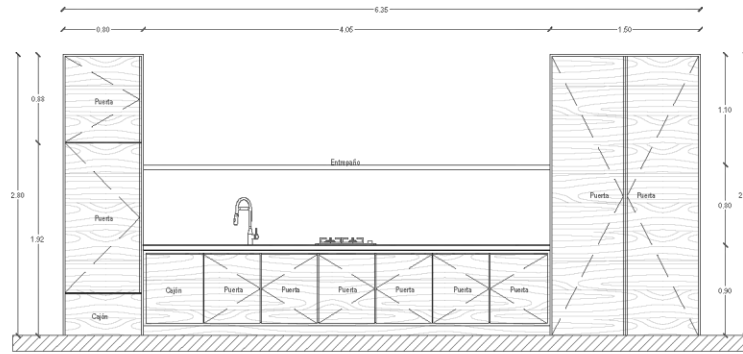
Mueble de cocina a medida con estructura de madera de pino y exterior de triplay de encino de 19mm tono nogal semi mate y encimera de terrazo.

Incluye:
 Parrilla de gas empotrable de cristal templado de 50cm x 60 cm con 4 quemadores.
 Tarja para empotrar de acero inoxidable de 62 cm x 47 cm marca Kraus.
 Refrigerador empotrable de 1.85 cm x 80 cm.

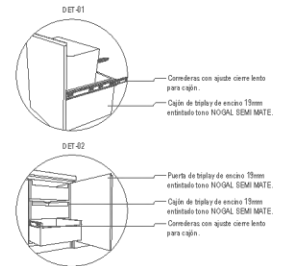
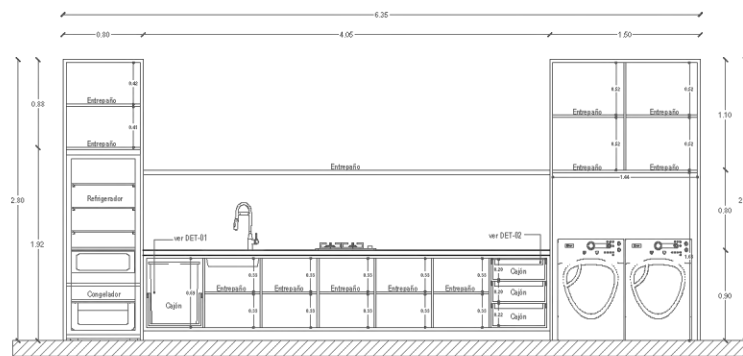
VISTA EN PLANTA



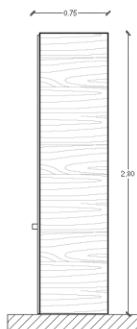
ALZADO FRONTAL



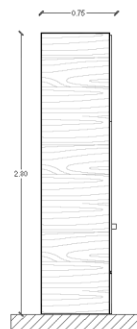
SECCIÓN A



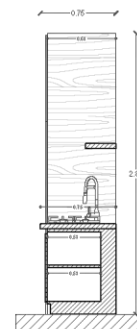
ALZADO LATERAL DERECHO



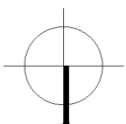
ALZADO LATERAL IZQUIERDO



SECCIÓN B



ORIENTACIÓN



CROQUIS



DIRECCIÓN

Ruta Quetzalcóatl, San Andrés Cholula, Santa Teresa, 72813 San Andrés Cholula, Pue.

PROYECTO

Edificio Quetzalcoatl Norte

SIMBOLOGÍA

- N.P.T Nivel de piso terminado
- Cambio de nivel

PLANO

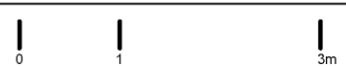
Carpintería cocina
 Departamento Doble

CLAVE

114 CAR-01

ESCALA

1:75

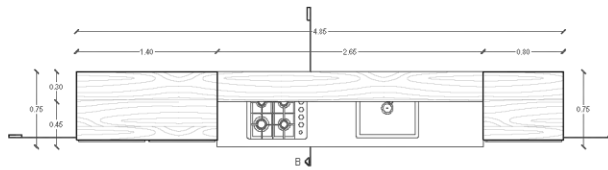


CAR-02

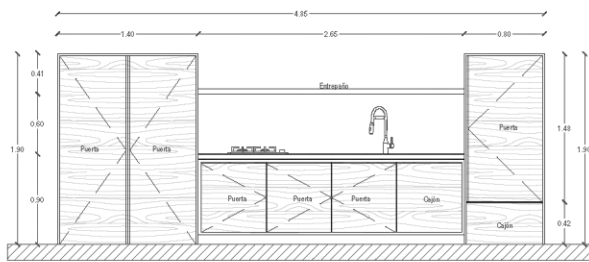
Mueble de cocina a medida con estructura de madera de pino y exterior de Inplay de encino de 19mm tono nogal semi mate y encimera de terrazo.

Incluye:
 Parrilla de gas empotrable de cristal templado de 50cm x 60 cm con 4 quemadores.
 Tarja para empotrar de acero inoxidable de 62 cm x 47 cm marca Kraus.
 Refrigerador empotrable de 1.65 cm x 80 cm.

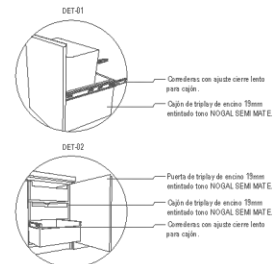
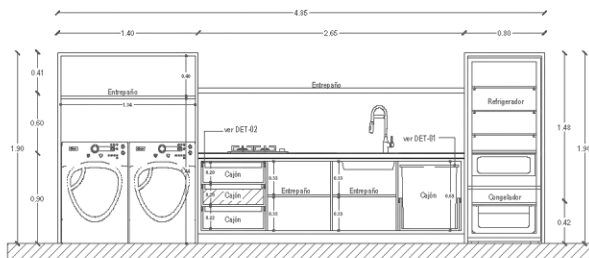
VISTA EN PLANTA



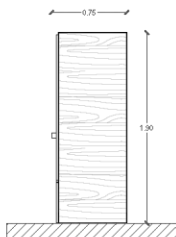
ALZADO FRONTAL



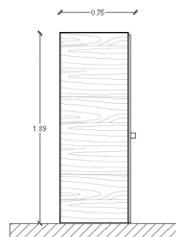
SECCIÓN A



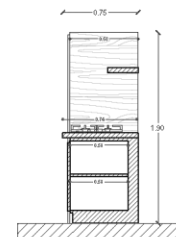
ALZADO LATERAL DERECHO



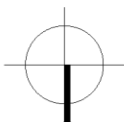
ALZADO LATERAL IZQUIERDO



SECCIÓN B



ORIENTACIÓN



CROQUIS



DIRECCIÓN

Ruta Quetzalcóatl, San Andrés Cholula, Santa Teresa, 72813 San Andrés Cholula, Pue.

PROYECTO

Edificio Quetzalcóatl Norte

SIMBOLOGÍA

- N.P.T Nivel de piso terminado
- Cambio de nivel

PLANO

Carpintería cocina
 Departamento Estudio

CLAVE

115 CAR-02

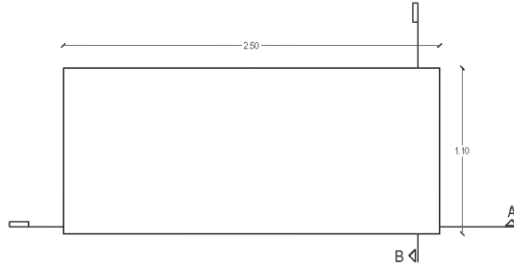
ESCALA

1:75

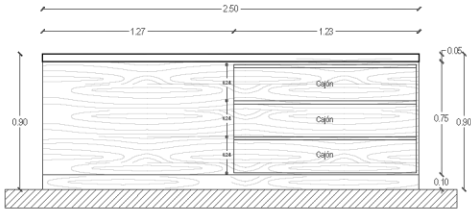


CAR-03
 Isla de cocina a medida con estructura de madera de pino y exterior de triplay de encino de 19mm tono nogal semi mate y encimera de terrazo.

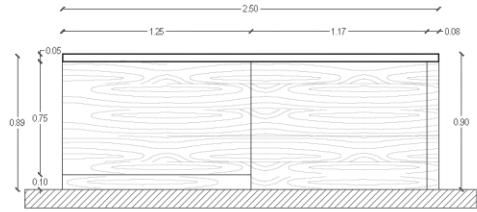
VISTA EN PLANTA



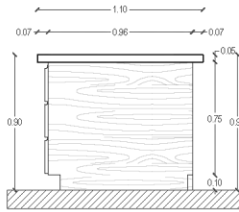
ALZADO FRONTAL



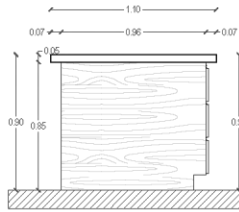
ALZADO POSTERIOR



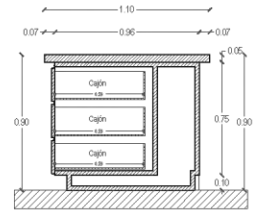
ALZADO LATERAL DERECHO



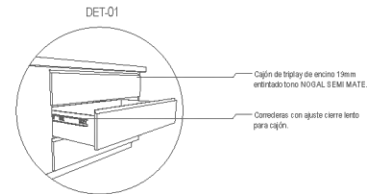
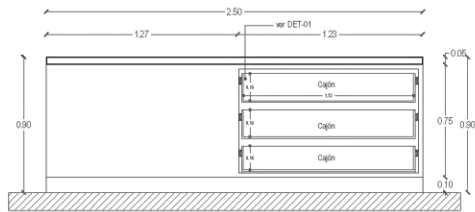
ALZADO POSTERIOR IZQUIERDO



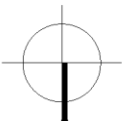
SECCIÓN B



SECCIÓN A



ORIENTACIÓN



CROQUIS



DIRECCIÓN

Ruta Quetzalcóatl, San Andrés Cholula, Santa Teresa, 72813 San Andrés Cholula, Pue.

PROYECTO

Edificio Quetzalcoatl Norte

SIMBOLOGÍA

- N.P.T Nivel de piso terminado
- Cambio de nivel

PLANO

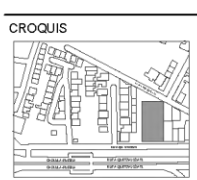
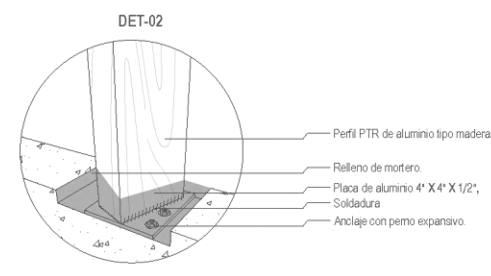
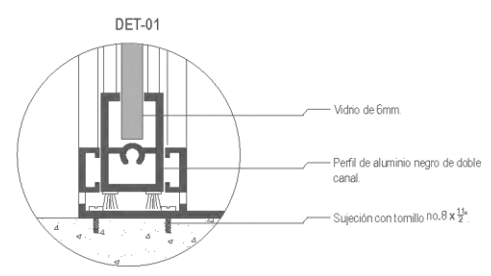
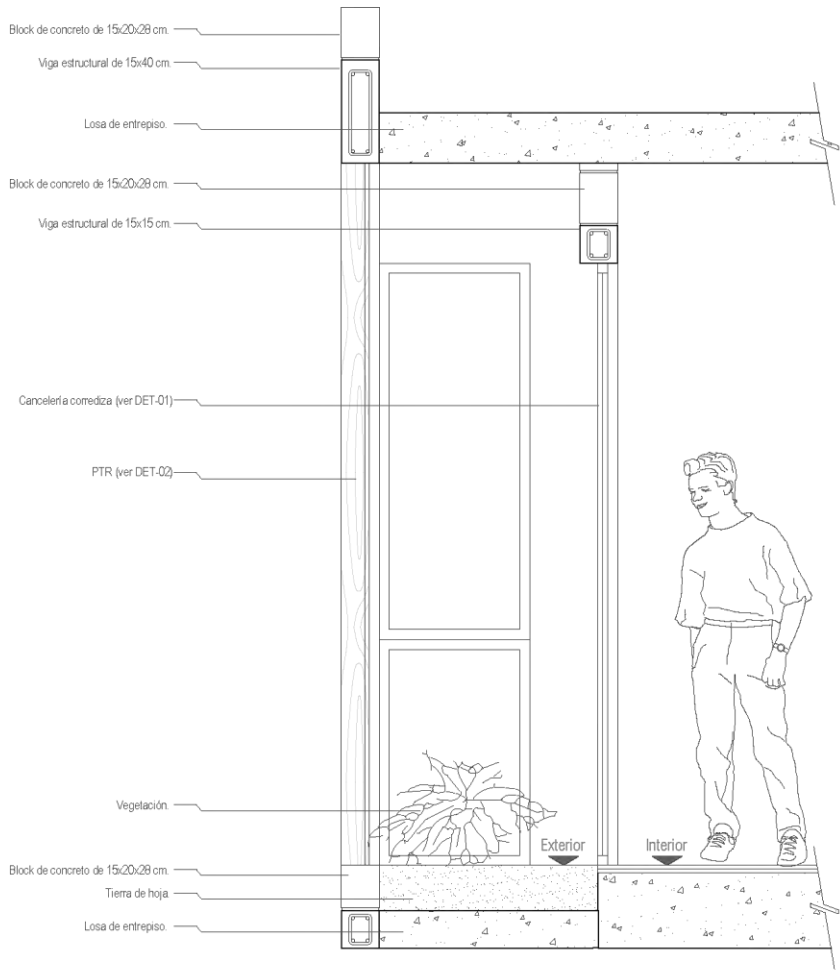
Carpintería isla cocina
 Departamento Doble y
 Estudio

CLAVE

116 CAR-03

ESCALA





DIRECCIÓN
 Ruta Quetzalcóatl, San Andrés Cholula, Santa Teresa, 72813 San Andrés Cholula, Pue.

PROYECTO
 Edificio Quetzalcoatl Norte

SIMBOLOGÍA

- ⊕ N.P.T Nivel de piso terminado
- ▨ Cambio de nivel

PLANO
 Partición de muro jardineras

CLAVE
 117 ALB-01

ESCALA
 1:30

7.11 Renders



Imagen 43. Vista fachada forntal. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 44. Vista jardines 1. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 45. Vista pasillo Nivel 1 . Fuente: Elaboración propia.



Imagen 46. Vista jardines 2. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 47. Vista jardines 3. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 48. Vista locales. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 49. Vista cocina-comedor Departamento Doble. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 50. Vista sala Departamento Doble. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 51. Vista habitación Departamento Doble. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 52. Vista baño Departamento Doble. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 53. Vista área común Estudio. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 54. Vista habitación Estudio. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 55. Vista baño Estudio. Fuente: Elaboración propia.

conclusiones.

En esta tesis se realizó una propuesta de vivienda vertical, para la cual se evaluó su calidad del ambiente interior. Se concluye que el impacto de la vivienda en su contexto y entorno natural son tan importantes como sus características funcionales, estéticas, de bienestar y de comodidad en el interior. Proponer estrategias sustentables para el confort térmico y lumínico en los interiores de cualquier edificación requiere un estudio adecuado de los parámetros climáticos característicos de cada sitio. Con base en estos parámetros se proponen soluciones arquitectónicas favorables para el confort y el ahorro del consumo energético del edificio. Los programas de simulación computacional implementados en este proyecto permitieron comprobar el desempeño del diseño arquitectónico de una forma eficaz y precisa.

La propuesta arquitectónica que se presenta en esta tesis integra, desde las primeras etapas del diseño, criterios sustentables (reglas de oro de la arquitectura) para la composición y funcionamiento de los espacios. Primeramente, se realizó un análisis del municipio de San Andrés Cholula, la ubicación y características del predio, así como los aspectos climáticos del sitio. Lo anterior permitió proponer una idea rectora y una volumetría atendiendo a un análisis intuitivo de los parámetros climáticos. Esta volumetría resultante fue modelada por medio de Rhinoceros para posteriormente realizar una simulación del desempeño ambiental por medio de ClimateStudio. En base a estos resultados precisos se realizaron las adecuaciones pertinentes en la propuesta arquitectónica. Así, se logra concretar una propuesta de vivienda vertical que atiende a las condiciones del entorno para favorecer su funcionamiento, composición e integración. Además, se satisfacen las necesidades de confort térmico y lumínico en el interior de los departamentos para generar un ambiente sano para sus ocupantes. Lo anterior está fundamentado por simulaciones computacionales que demuestran que este diseño obtiene 3 puntos LEED respecto al Spatial Daylight Autonomy de la versión actual LEED v4.1.

En conclusión, la implementación de criterios sustentables para el confort interior en edificios de vivienda vertical nos permite generar espacios interiores más adecuados para el bienestar de los habitantes, una composición más ordenada de las ciudades y un entorno natural más sano.

REFERENCIAS

- CITEC UBB. (2012). Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos. *Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética En Edificios Públicos*, 13–28. Retrieved from [http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif Publicos_Parte1.pdf](http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif-Publicos_Parte1.pdf)
- Edgar Hilario Piña Hernández. (2018). Prototipo de vivienda vertical social sustentable, enfoque en resistencia al cambio climático. *Revista INVI*, 33(92), 213–237. <https://doi-org.udlap.idm.oclc.org/10.4067/S0718-83582018000100213>
- European Collaborative Action. (1992). Indoor Air Quality & Its Impact on Man - Report No. 11 - Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings. *Office*.
- Gómez-Porter, P. F. (2021). La vivienda colectiva de la modernidad en tiempos de COVID19 aportaciones del paradigma habitacional. *Arquitecturas Del Sur*, 38(59), 28–43. <https://doi.org/10.22320/07196466.2021.39.059.02>
- González, P. (2010). *El Clima y Principios de Diseño Arquitectura Bioclimática en los Andes Tropicales*. Retrieved from https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13550/Gonzalez_Pablo_Tesina.pdf
- Guía Técnica Aprovechamiento de la luz natural de edificios*. (2004).
- Informe de labores Desarrollo Territorial*. (2020).
- Innes, M. (2012). Lighting for Interior Design. In *Laurence King Publishing Ltd, London*. Laurence King Publishing.
- Marcos, F. V., & Pulgarín, I. G. (2005). Calidad ambiental Interior: Bienestar, confort y salud. *Revista Española de Salud Pública*, 2, 243–251.
- María Lourdes Guevara. (2017). Hacia una densificación urbana para la conservación y protección de áreas naturales. Municipio de Amozoc, Puebla. *Espacio y Desarrollo*, 30, 101–128.
- Marisol Rodríguez Sosa, Erick Sánchez Flores, & Gabriel García Moreno. (2019). Vivienda vertical social en la frontera norte de México: criterios para una densificación sustentable. *Revista INVI*, 34(95), 167–194. <https://doi-org.udlap.idm.oclc.org/10.4067/S0718-83582019000100167>
- Neila, J. (2000). Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible: buenas prácticas edificatorias. *Cuadernos de Investigación Urbanística*, 41(6), 89–99.
- Perez, M. E. T. (2021). Habitability of Minimum Housing and the Cities under Global Pandemic: COVID-19 in Merida Mexico. *Revista Invi*, 36(102), 352–383.

Pérez Pérez, A. L. (2016). *El diseño de la vivienda de interés social: la satisfacción de las necesidades y expectativas del usuario*.

Ramón González, J. A., & Aguilar, A. G. (2021). Expansión urbana irregular, cambio de uso del suelo y deterioro ambiental en la periferia norte de la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala: el caso del Parque Nacional La Malinche. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 30(2), 441–458. <https://doi-org.udlap.idm.oclc.org/10.15446/rcdg.v30n2.89849>

Schettler, T. (2006). Efectos de los edificios sobre la salud: ¿Qué es lo que sabemos? *Instituto de Medicina (IOM)*.

Vera, F., & Adler, V. (2018). Vivienda ¿Qué viene?: De pensar la unidad a construir la ciudad. *Vivienda ¿Qué Viene?: De Pensar La Unidad a Construir La Ciudad*. <https://doi.org/10.18235/0001594>