

Informe Final Proyecto Pasantía Ampliación Juzgado de Garantía de La Ligua

Valentín Rodrigo Espinoza Llanos
Universidad Adolfo Ibáñez
6 de diciembre del 2023

Índice

Resumen Ejecutivo	2
Introducción	4
Contexto	4
Identificación de oportunidad.....	4
Objetivos	6
Objetivo General	6
Objetivos Específicos.....	6
KPI.....	6
Estado del Arte	7
Soluciones propuestas a partir del Estado del Arte	8
Evaluación Económica.....	10
Metodologías	11
Procedimiento	11
Principales Hitos.....	12
Análisis de riesgos en la solución propuesta.....	14
Desarrollo del proyecto.....	15
Medidas de Desempeño	23
Conclusiones y Discusión	24
Referencias.....	26
Anexos.....	26

Resumen Ejecutivo

El presente trabajo tiene como objetivo respaldar una propuesta de solución frente a la necesidad de ampliar el Juzgado de Garantía de La Ligua mediante la construcción de un segundo piso, edificio cuyo proceso de construcción finalizó el año 2004. Es necesario realizar este análisis para conocer cuán capaz es la estructura de soportar mayores cargas que las actuales. Con esto disminuirá la incertidumbre frente a la toma de decisiones en el futuro proyecto de ampliación.

Para llevar a cabo este proyecto fue necesario recopilar la información existente sobre la estructura, desde documentación de la propiedad hasta planos arquitectónicos y estructurales, para luego, con la ayuda de toda esta información, poder modelar la estructura en el software ETABS.

El análisis se basó en el estudio de la respuesta de una estructura de muros, columnas y vigas de hormigón armado frente a la acción de sobrecargas y fuerzas sísmicas. En base al mismo modelo computacional, luego se propusieron alternativas de ampliación según las necesidades de funcionamiento del lugar.

Analizando estas alternativas se pudo llegar a conclusiones y recomendaciones que guían el futuro diseño de la estructura en el proyecto de ampliación.

Abstract

The present work aims to support a proposed solution to address the need for expanding the Guarantee Court of La Ligua by constructing a second floor. The construction of the building was completed in 2004. It is necessary to conduct this analysis to understand how capable the structure is of supporting greater loads than the current ones. This will reduce uncertainty in decision-making for the future expansion project.

To carry out this project, it was necessary to gather existing information about the structure, ranging from property documentation to architectural and structural plans. Subsequently, with the aid of all this information, the structure was modeled in the ETABS software.

The analysis focused on studying the response of a structure composed of walls, columns, and reinforced concrete beams to the action of overloads and seismic forces. Based on the same computational model, expansion alternatives were then proposed according to the operational needs of the location.

Analyzing these alternatives led to conclusions and recommendations that guide the future design of the structure in the expansion project.

Introducción

Contexto

La Corporación Administrativa del Poder Judicial CAPJ es la institución encargada de administrar recursos humanos, físicos, financieros y tecnológicos del Poder Judicial. Su misión es brindar un servicio de calidad e incidir en una mejor justicia para las personas.

Esta empresa está a cargo de un Consejo Superior, integrado por el presidente de la Corte Suprema junto a cuatro ministros. En cuanto a la estructura interna de la CAPJ, está liderada por un director y un subdirector, además de diferentes jefes de departamento. Esto, en cada uno de los 17 administradores zonales, repartidos en todos los territorios jurisdicciones del país.

Los valores que representa esta institución son el respeto por las personas, la integridad, transparencia, innovación y sustentabilidad.

El área en el que se trabajó durante la pasantía es el Departamento de Infraestructura y Mantenimiento, responsable de administrar el área de proyectos y construcción de la institución, con la finalidad de proveer los recursos e infraestructura requerida para su normal operación dentro del marco de las políticas, normas y presupuestos establecidos.

Identificación de oportunidad

Al comenzar el periodo de pasantía se plantearon varios proyectos en los que se tendría que participar, en el que se trabajó principalmente fue el proyecto de ampliación del juzgado de La Ligua.

La problemática nace de la necesidad de contar con una nueva sala de audiencias en el lugar, ya que, actualmente ejercen su labor en el tribunal dos jueces y sólo existe una sala de audiencias. Sin embargo, dentro del Juzgado no hay espacio para implementar una nueva, por lo que es imprescindible contar con más infraestructura para tener el espacio requerido.

Para esto, en la empresa se acostumbra el uso de distintas soluciones posibles, una opción es contratar el arriendo de infraestructura para adaptarla y darle el uso de una sala de audiencias,

aunque hay aspectos que desfavorecen esta propuesta, tales como la dificultad para encontrar un lugar que cumpla con las características generales que necesitaría el juzgado y lo inconveniente que es invertir en modificaciones estructurales en un lugar que no es propio.

Dentro del mismo terreno en el que se encuentra el Juzgado de Garantía en La Ligua, tampoco hay espacio para construir una nueva sala de audiencias, por lo que para evitar las dificultades recién mencionadas y poder construir una nueva sala de audiencias sin inconvenientes sería necesario adquirir un terreno en el sector para poder construir la nueva sala, lo cual implicaría un costo extra por la misma compra del terreno y su nivelación.

Por otro lado, esta opción no asegura una cercanía entre las dos salas de audiencia por lo que también significaría problemas de gestión o administrativos, ya que lo que busca la empresa es que el Juzgado permanezca cerca del centro de la ciudad. Esta opción, incluso generaría retrasos en el proyecto ya que la compra de un terreno para habilitar una sala de audiencias debe ser aprobada por una comisión del Poder Judicial.

Ante esto nace la propuesta de ampliar la estructura existente del Juzgado mediante la construcción de un segundo piso, de esta manera no será necesario un terreno nuevo y se eliminarían los problemas que genera el hecho de tener dos salas de audiencia separadas. Para esto, será necesario verificar si la estructura actual es capaz de soportar un segundo piso.

Se trata de un edificio de un piso que se estructura en base a muros, vigas y losas de hormigón armado, además de muros de albañilería confinada.

Al observar uno de los planos arquitectónicos previo a comenzar cualquier procedimiento se notó que hay un área del establecimiento diseñada como la proyección para una futura escalera y ascensor a un segundo piso, como se muestra en el anexo 1, por esto es que se trabaja bajo el supuesto de que existe algún sector del Juzgado que se diseñó estructuralmente para recibir mayores cargas que las que recibe actualmente. Esto se podrá comprobar o no con el presente proyecto.

Objetivos

Objetivo General: Verificar la factibilidad de construir un segundo piso sobre el Juzgado de Garantía de La Ligua que cumpla con las necesidades de funcionamiento del establecimiento sin modificar la estructura existente.

Objetivos Secundarios:

- Integrar equipo de trabajo del Departamento de Infraestructura de la CAPJ.

Objetivos Específicos:

- Disminuir el plazo del proyecto en un 10% en comparación a una situación alternativa; una construcción totalmente nueva.
- Disminuir los costos del proyecto en un 10% en comparación a una situación alternativa; una construcción totalmente nueva.

KPI:

1. % de disminución de costos con respecto a la solución alternativa.
$$(1 - \text{Costo total ampliación} / \text{Costo total obra nueva}) * 100$$
2. % de disminución de plazos con respecto a la solución alternativa.
$$(1 - \text{Plazo total ampliación} / \text{Plazo total obra nueva}) * 100$$

Estado del Arte

Previo a definir los pasos a seguir en mi proyecto de pasantía, es necesario saber cómo se resuelven comúnmente este tipo de problemáticas o análisis en la industria. Se han encontrado una serie de Memorias de Cálculo sobre problemáticas similares a la que se me presenta actualmente, por lo que tener en cuenta la metodología utilizada en dichos proyectos es de suma importancia para comenzar a plantear el mío.

Si bien, la mayoría de los proyectos consultados tratan sobre estructuras totalmente nuevas, el análisis sigue siendo útil para comenzar a planear la metodología que se utilizará. Algunos proyectos^{2, 3, 4} utilizaron el software ETABS para modelar la estructura y así verificar la resistencia/capacidad de sus distintos elementos y también poder analizar su comportamiento dinámico frente a cargas sísmicas.

Por otro lado, Stuardo, K., J.⁵, quien estudió una Metodología de Evaluación Estructural de elementos de Hormigón Armado, lo hizo mediante el Índice Estructural, el cual ayuda con el estudio de las patologías del hormigón.

Góngora, D., Guzmán, J. A.⁶, plantearon una propuesta de diseño automatizado de muros estructurales de hormigón armado mediante una hoja de Excel, la cual utiliza datos proporcionados por ETABS para diseñar y verificar muros estructurales.

Una de las propuestas más avanzadas es la de Maldonado de La Torre, L., E.⁷, quién se encuentra trabajando en un código Python para la automatización del Análisis Sísmico, extrayendo datos de un modelo ETABS y verificando, en este caso, si cumple con la normativa peruana E.030, además de generar automáticamente una memoria de cálculo.

Por último, está el caso de “Análisis sismorresistente mediante el método modal espectral de un edificio habitacional ubicado en la comuna de Tomé.”¹ que plantea como su objetivo el siguiente; *“Evaluar el edificio habitacional “Don Guillermo” para ser catalogado como solución de evacuación vertical ante tsunamis.”*¹

Si bien no se trata de una ampliación como el proyecto actual, es necesario realizar un procedimiento de análisis con el uso de software para verificar la estructura que se estudia, lo cual es una buena propuesta. Por otro lado, también se trata de una estructura de muros y losas de hormigón armado, por lo que sería necesario ajustarse a la misma normativa.

La metodología utilizada en el análisis mencionado fue la siguiente; *“En primer lugar, se analiza la estructura según la información recolectada, gracias a la Dirección de Obras de la I. Municipalidad de Tomé, a partir de los planos, informes y de visitas a terreno. De acuerdo con la información obtenida se procede a la modelación en el programa ETABS, la estructura es analizada y estudiada en 2 casos. Primero una estructuración del edificio con un solo diafragma rígido por planta. El segundo caso se analiza considerando los cuatro módulos del edificio como diafragmas rígidos independientes.”*¹

Esta es una muy buena base para planificar un procedimiento para el actual proyecto, pues al igual que el proyecto de Tomé se trata de una verificación, aunque en el presente trabajo se considerará siempre un solo diafragma por planta, ya que la distribución del Juzgado es de un solo edificio, a diferencia de la estructura estudiada en Tomé.

Soluciones propuestas a partir del Estado del Arte

Principales propuestas a tomar en cuenta:

1. Maldonado de La Torre, L., E.⁷ Quien mediante Python trabaja en el traspaso de los datos ETABS a una memoria de cálculo. Como se dijo es una de las propuestas más avanzadas, sin embargo, el tiempo es una gran restricción en el actual proyecto y no existe certeza de poder redactar un código funcional durante el semestre. Cabe destacar que el Ingeniero Maldonado es conocido por proyectos como el que se menciona, trabajando con la programación para automatizar procesos de la ingeniería civil, por lo que es una metodología con un nivel bastante elevado.

2. Diseño y Revisión de Muros Estructurales de Concreto Reforzado a través de una hoja electrónica. Góngora, D., Guzmán, J. A., (2019). A diferencia del caso anterior, los autores de este proyecto si publicaron su resultado y mediante la base de datos de su Universidad se logró encontrar la planilla Excel que trabajaron. Es totalmente funcional, sin embargo, el actual proyecto no abarca una etapa de diseño estructural, sino que de verificación, por lo que esta herramienta podría ser útil en etapas futuras más no actualmente.
3. Análisis Sismorresistente mediante el método modal espectral de un edificio habitacional ubicado en la comuna de Tomé. Rodríguez, D. A. (2016). El objetivo de este proyecto es muy similar al del proyecto que abarca el presente informe, con una metodología que se adapta a las capacidades y restricciones de tiempo, por lo que es un buen punto de partida previo a plantear una metodología específica.

Se realizó una evaluación de las tres principales propuestas en base a distintos parámetros definidos, asignando puntaje según cuan favorable sea cada opción desde el punto de vista de los parámetros. 0 puntos significan una opción desfavorable y 2 puntos significa favorable, mientras que 1 punto es indiferente. Los resultados se muestran en la tabla a continuación.

	Aplicabilidad	Tiempo	Riesgo	Total
Opción 1	2	1	0	3
Opción 2	1	1	1	3
Opción 3	2	1	1	4

Tabla 1: Evaluación de soluciones

Los resultados de la tabla representan objetivamente lo que se planteó anteriormente, pues el riesgo que implica desarrollar un código Python es un aspecto fundamental al definir la metodología del proyecto. Por otro lado, el sistema de diseño de muros no es aplicable en esta

etapa del proyecto, por lo que se decidió utilizar la propuesta de análisis sismo resistente como base para plantear la metodología del proyecto.

Evaluación Económica

Para evaluar el beneficio económico que implica elegir una ampliación mediante la construcción de un segundo piso por sobre una situación alternativa, se puede realizar una comparación en cuanto a los costos que implicaría cada una de ellas. Para esto se puede plantear una situación alternativa de construcción nueva basada en el Juzgado de Garantía actual, utilizando la misma superficie, distribución y materialidad, puesto que esto satisface las mismas necesidades de funcionamiento que tendría una sala de audiencias al construirse en otro terreno.

Por otro lado, se puede plantear una ampliación con características que se definirán en etapas futuras del proyecto (Ilustración 2). También suponiendo la misma materialidad que la estructura del Juzgado actualmente.

Dentro de la empresa existen estándares para facilitar los cálculos de presupuestos de Obras Civiles, esto en base a distintas fuentes de información referenciadas. Los datos mencionados se muestran en la tabla 2

UF/m ² OOC		
Región	Promedio UF/m ²	Fuente de información
Valparaíso	83,01	MDSF (Proyecto La Calera)
Metropolitana	72,4	Dirección Arquitectura
O'Higgins	73,7	MDSF (Proyecto Rengo)
Maule	73,7	MDSF

Tabla 2: Valores referenciales OOC

Como se ve en la tabla, en la región de Valparaíso el costo promedio por m² de construcción es igual a 83.01 UF, con esta información se puede estimar el costo de construcción de cada situación ya que se conoce la cantidad de m² que se requieren para cada una, este procedimiento se ve representado en la tabla 3

	UF/m ²	m ² totales (*)	Costo de Obra Gruesa (UF)	Adicionales (UF) (**)	Costo Total (UF)
Situación Ampliación	83,01	310,90	25807,81	0	25807,81
Situación Obra Nueva	83,01	523,50	43455,74	11702,73	55158,46

Tabla 3: Comparación de costos

(*) La cantidad de m² necesarios para la ampliación proyectada se justifica en los resultados del proyecto y se ve representado en la ilustración 2. Mientras que se estimó una superficie similar a la actual para la Situación Obra Nueva.

(**) Los adicionales de la situación Obra Nueva representan la compra de terreno, valores justificados en Anexo 10.

Los resultados de esta comparación demuestran una disminución del 53,2% en el costo total del proyecto al preferir un proyecto de ampliación.

Metodologías

Procedimiento

Como se mencionó anteriormente se trata de una construcción de hormigón armado de un solo piso compuesta por una losa sostenida por muros estructurales y columnas tal como se muestra en el plano arquitectónico en el anexo 1.

Una parte importante del proyecto es saber qué tan capaz es la estructura para soportar nuevas cargas, pero también lo es saber las necesidades que existen durante el uso de la infraestructura. Por lo que fue necesario ir al lugar a discutir el tema con su administrador, para así conocer mejor el lugar y entender el uso que se le da y de dónde nace esta necesidad. Así es como, más adelante se podrán contrastar la información sobre la capacidad de la infraestructura con las necesidades que debe solucionar la propuesta.

Para comenzar el análisis de la estructura en el programa computacional, se levantará la estructura existente y se le aplicará un análisis estático tal como se realizó en el proyecto original según la memoria de cálculo. Con esto se espera representar el comportamiento actual del Juzgado.

El siguiente paso será analizar la estructura generando un segundo piso idéntico al primero. Esto con el objetivo de ir acotando las posibilidades, generando restricciones, para observar cómo se comporta la estructura. Esto no es una opción que cumpla con los requerimientos del funcionamiento en el lugar, pero sí es información útil para tener un punto de partida y así entender qué zonas de la estructura fueron diseñadas para resistir una ampliación, tal como se comentó previamente.

Luego de tener los resultados de este análisis, se puede obtener desde las tablas de ETABS los esfuerzos de corte, momento y carga axial que reciben los distintos elementos estructurales del edificio, para poder comparar estos valores con las capacidades de cada elemento.

Con esta información, se propondrá una distribución que pueda satisfacer los requerimientos de funcionamiento interno del Juzgado bajo las restricciones estructurales que existen.

Esta propuesta se presentará ante la empresa para ser aprobada. En caso de que así sea se procederá a analizar dicho modelo mediante el software ETABS para verificar elementos estructurales. En el caso de no ser aprobada, se discutirá junto a la empresa una distribución que cumpla las expectativas, para poder ser evaluada mediante el programa computacional.

Con los resultados de este último análisis se podrá tener una respuesta al cuestionamiento inicial. Pues se podrá saber claramente si la estructura actual del Juzgado de Garantía de La Ligua es capaz de resistir la construcción de un segundo piso sin ser modificada. Con lo cual se cumple el objetivo general del proyecto.

Principales Hitos

- Recolección de información previa sobre la estructura: Tanto planos arquitectónicos como estructurales son necesarios para comenzar el análisis, por lo que es necesario generar

contacto con la Dirección de Obras Municipales (DOM) de La Ligua. Además, para el correcto uso de las normas es necesario tener información sobre la ubicación, dimensiones, qué tipo de uso se le da a esta estructura, etc. Lo cual se puede encontrar en el Certificado de Informaciones Previas (CIP).

- Conocer las necesidades actuales que existen en el uso de la infraestructura actualmente: Generar contacto con los ocupantes del lugar servirá para obtener información complementaria útil para el diseño de la solución.
- Verificación de elementos estructurales mediante software ETABS: Luego de definir la propuesta de distribución del segundo piso del Juzgado, un hito fundamental en el proceso del proyecto es el conocer la verificación de los elementos estructurales de este. Pues con esto se cierra la etapa más significativa de cálculos y lo que viene pasa a ser toma de decisiones y proyecciones para una futura etapa de diseño de la estructura.

El siguiente diagrama representa el proceso que se llevará a cabo como metodología del proyecto.

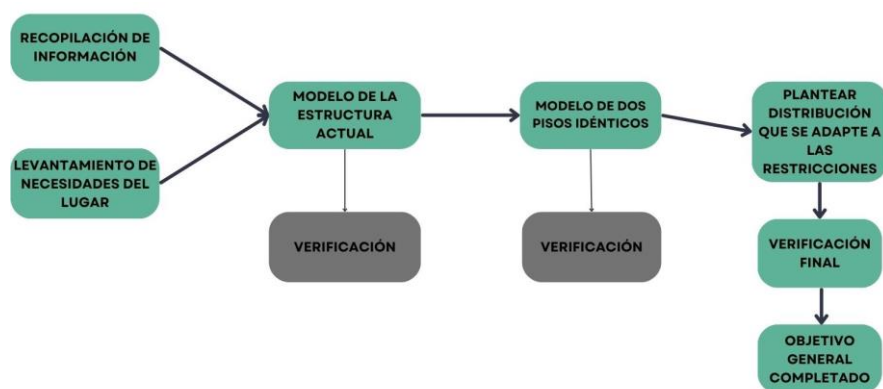


Ilustración 1: Diagrama de flujo de la metodología

Análisis de riesgos en la solución propuesta

Los eventos que más podrían influir en el proceso del proyecto se ponderaron según su probabilidad y el impacto que tendrían para determinar cuáles son los eventos críticos y qué se puede hacer para evitar la complicación del proyecto.

Como se puede ver en el resultado de este análisis (Anexo 2), mediante una matriz de riesgos se concluyó que un posible retraso de la documentación necesaria o la falta de información de entrada necesaria serían los factores que mayor impacto tendrían en el proceso. Por eso es que para ambas situaciones se debe tener un plan de mitigación.

En primer lugar, para una posible falta de información de entrada como lo pueden ser planos estructurales o arquitectónicos, que son fundamentales para el análisis de la estructura, una opción totalmente viable en este caso es basar cálculos en la información de alguna otra estructura parecida a cargo de la empresa. Existe otro juzgado de garantía en Limache que tiene una estructura similar a la que se debe estudiar, por lo que se podría utilizar esa información sobre dimensiones y refuerzos para los cálculos del proyecto actual.

En el caso del retraso de la documentación necesaria, se trata de una etapa previa a la obtención de planos. Los documentos necesarios para solicitar el certificado de información previa del Juzgado en la Municipalidad de La Ligua son la escritura de la propiedad junto al certificado del rol de avalúo. El retraso se podría generar en el caso de no tener dichos documentos necesarios en los archivos de la empresa, de ser así la única opción es renovar dichos documentos en la Municipalidad, por lo que el retraso sería inevitable. Sin embargo, dicho retraso no tendría un gran impacto en el proyecto ya que como se mencionó anteriormente existe un margen considerable entre el fin del proyecto y el fin de la pasantía, por lo mismo es que según la matriz se considera un evento aceptable.

Desarrollo del proyecto

- Recolección de Planos Arquitectónicos:

Esta actividad se completó sin mayor esfuerzo, ya que dentro de los archivos del departamento de infraestructura se encontraron planos arquitectónicos de la estructura. Sin embargo, ocurrió que se encontraron dos versiones distintas, una del MOP y otra de “Optimiza”, una empresa externa que realizó el trabajo para la Corporación. De todas maneras, sólo existían pequeñas diferencias que luego pudieron ser comprobadas en base a planos estructurales y visitas a terreno.

- Análisis de la normativa vigente:

La estructura se diseñó bajo las siguientes normas:

- | | |
|---------------------|---------------------------------|
| - Análisis sísmico | NCh 433 of 96. |
| - Acción del viento | NCh 432 of 71. |
| - Sobrecargas | NCh 1537 of 86. |
| - Albañilería | NCh 1928 of 93. NCh 2123 of 97. |
| - Hormigón Armado | ACI 318-99. |

Por lo tanto, esta es la normativa que se tuvo en cuenta en el proyecto actual.

- Obtención de Certificado de Información Previa:

“El Certificado de Informaciones Previas (CIP), es un instrumento contemplado en el artículo 116 de la Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC), que permite acreditar las normas urbanísticas que se aplican a un determinado inmueble.”⁸

Como se menciona, el certificado de informaciones previas define las restricciones que regulan la construcción y ampliación de propiedades. El CIP del Juzgado de Garantía de La Ligua se regula únicamente bajo el Plan Regulador Comunal vigente (1980) y las Normas

Urbanísticas se regulan por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), Art. 2.1.2.23, Art 2.6.2, Art 2.6.3. En el Anexo 5 se encuentran las restricciones de cada uno de los documentos aplicables al caso, verificando que se cumplen.

El proceso de obtención del documento fue bastante lento ya que para solicitar el certificado fue necesario contar con un certificado del ROL de la propiedad. Sin embargo, el Juzgado se encuentra en un terreno que fue loteado, por lo cual fue difícil saber cuál es el ROL exacto del lote en el cual se encuentra el Juzgado ya que es información que nunca se regularizó. A pesar de esto, luego de consultar en la municipalidad de La Ligua se logró dar con la información necesaria para solicitar el certificado.

- Levantamiento de las necesidades del lugar:

Para este proceso, fue necesario realizar una primera visita al Juzgado, para así conocer en persona la estructura que se estaría analizando. En dicha visita, pude conocer a Jorge Pizarro, quien es el administrador del Juzgado en La Ligua y me comunicó algunas directrices del funcionamiento del establecimiento y cómo él proyecta dicho funcionamiento frente a una ampliación. Esta información es fundamental para una futura etapa de diseño de propuesta, pues la nueva estructura debe estar planteada de manera que asegure un uso cómodo del lugar.

- Recolección de planos estructurales:

Para conseguir los planos estructurales del establecimiento, fue necesario visitar la Dirección de obras Municipales de La Ligua, donde se pudo desarchivar dos carpetas que contenían documentación sobre el Juzgado, dentro de ello Planos Estructurales y registro de Ensayos que se realizaron para el proyecto inicial. Los Planos se encuentran en el Anexo 4.

- Diseño de Estructura actual en ETABS:

El siguiente proceso es el que se debe realizar para todos los distintos modelos que se analicen durante el proyecto. La modelación del edificio del Juzgado de Garantía de La

Ligua en el programa ETABS se realizó en base a toda la información de la estructura que se logró recopilar. El proceso de modelación se basa en;

- Definir los materiales y secciones de todos los elementos que comprenden la estructura, esta información es obtenida desde planos estructurales y memorias de cálculo.
- Dibujar la planta de la estructura en la ventana de plano en el software mediante joints.
- Elevar muros estructurales y columnas según información de planos estructurales.
- Unir muros y columnas ingresando las vigas para luego dibujar las losas de la estructura.
- Asignar sobrecargas, cargas sísmicas y de viento según normativa. Además de ingresar las combinaciones de carga que se analizaron. Información disponible en el Anexo 3.

Las cargas sísmicas se ingresaron al programa en base a una planilla Excel creada por el Ingeniero Geotécnico Felipe Castilla⁹, la cual facilita la creación de un espectro que puede ser ingresado directamente como carga sísmica al software.

La programación de Carta Gantt que se planteó inicialmente para el proyecto (Anexo 7) estimaba el fin del análisis durante la primera semana de noviembre. Sin embargo, hubo procesos que demoraron más de lo esperado, principalmente la modelación de la estructura y sus distintas variaciones en el software ETABS. Además de la lectura y el análisis de los resultados, pues desde el programa se extraen gráficos y tablas con mucha información, por lo que tomó más tiempo del que se esperaba. En esta etapa del proyecto hubiera sido útil contar con un código para simplificar el análisis de los datos como se referenció en el Estado del Arte.

Resultados Cualitativos y Cuantitativos

Primer Análisis:

Como se mencionó anteriormente, el primer análisis computacional que se realizó fue en base a la estructura actual del Juzgado de Garantía. La verificación estructural de los elementos estructurales de este modelo está respaldada por la memoria de cálculo del proyecto original, de todas maneras se modeló para tener la base sobre la cual se modelarán las propuestas siguientes.

Segundo Análisis:

El segundo análisis de la estructura se realizó sobre un modelo de dos pisos, donde ambos pisos tienen las mismas dimensiones y materialidad, tal como se planteó previamente en la metodología. Se asignaron materiales y sobrecargas según memoria de cálculo original, secciones y dimensiones según planos estructurales.

Este análisis se realizó esperando que la estructura no soportara las cargas/sobrecargas, ya que lo que se buscó fue crear una restricción, es decir, conocer el extremo menos favorable para saber aproximadamente el rango en el que debe estar la distribución que se proponga.

Como se comentó previamente, el proceso de análisis de los resultados extraídos desde ETABS es tedioso debido a la gran cantidad de datos que incluyen las tablas. Para simplificar esto, se utilizaron tablas dinámicas en Excel, de esta manera se filtraron los datos necesarios para verificar la capacidad de cada elemento estructural del edificio. Se utilizó información con respecto a esfuerzos en vigas, muros y losas, para poder comparar las cargas solicitantes de cada elemento con su resistencia.

Los principales elementos que fallaron fueron los muros que rodean la sala de audiencias, además de una viga, puesto que son los elementos que deberían recibir la carga de uso de una sala de audiencias. Específicamente, hay cinco muros cuya carga solicitante supera la resistencia de estos, por lo tanto, **la estructura no es capaz de soportar un segundo nivel idéntico al primero sin ser reforzada.**

Muro	Carga Axial Solicitante (tnf)	Resistencia (tnf)
W89	16.87	12.1
W90	22.25	12.1
W91	30.83	12.1
W31	14.32	12.1
W36	14.49	12.1

Tabla 4: Falla de muros en segundo análisis

Viga	Corte solicitante (tnf)	Resistencia (tnf)
B5	10.8	5

Este análisis sirvió para tener presente restricciones al momento de plantear una distribución final.

Primera propuesta de distribución:

Luego del segundo análisis realizado, se observó que las losas L107, L108, L109, L113 y L114, mostradas en el plano estructural del Anexo 4, fueron diseñadas para recibir sobrecargas de uso de oficina, por lo que la propuesta se pensó para darle uso a dichas losas para la sala de audiencias y de sobrar espacio, también oficinas. Coincide que las losas capaces de resistir sobrecargas de oficina están cercanas a las proyecciones de escaleras y ascensor detalladas en el plano arquitectónico que se mencionó previamente, por lo que se entiende que este fue el sector que se proyectó para un segundo piso en el proyecto original.

Cabe mencionar que, en esta etapa del proyecto, se contactó al ingeniero calculista del proyecto, aunque a pesar de su disposición a ayudar entregando información, no fue de gran aporte ya que según cuenta, actualmente no conserva archivos del proyecto original (2004), ya que acostumbra a eliminarlos luego de 10 años, fecha en la que cesa la responsabilidad civil.

De todas maneras, con los resultados del segundo análisis se pudo crear una propuesta dándole uso al sector más resistente de la estructura, de la cual se puede ver una representación en AutoCAD en el Anexo 6.

Al presentar esta propuesta ante la empresa se identificaron dos problemáticas sobre la distribución;

1. El acceso al segundo nivel proyectado originalmente se encuentra en un sector donde el público no tiene acceso, pues es por donde ingresan los funcionarios del Juzgado desde los estacionamientos. Por ende, para habilitar ese acceso al público general habría que redistribuir toda la primera planta del edificio.
2. Debe existir un acceso directo desde las celdas hacia la sala de audiencias para que puedan ingresar los imputados, lo cual se hace imposible sin modificar la estructura existente.

Última propuesta de distribución:

Con estas indicaciones y la ayuda del supervisor de la pasantía, se planteó una nueva y última propuesta a ser analizada (Ilustración 2, 3, 4.). En este caso se proyectó un segundo nivel más grande, dejando la nueva sala de audiencias sobre la que existe actualmente, esto implica la construcción de una losa que resista una sobrecarga correspondiente a la sala de audiencias, por lo que se utilizará el mismo diseño de la losa L107.

Se consideraron accesos universales para funcionarios y público general. No se encontró una distribución posible para incorporar un ascensor desde el sector de las celdas, por lo que desde esa área a la sala de audiencias sólo existirá escalera. Por este motivo es que la sala de audiencias del segundo nivel no se podrá considerar como una de acceso universal.

Además de la sala de audiencias, se implementarán espacios de oficina, de esta manera se podrán distribuir de mejor manera los funcionarios entre ambos niveles. A continuación, se muestra distribución del segundo nivel y la estructura de cada uno en ETABS.

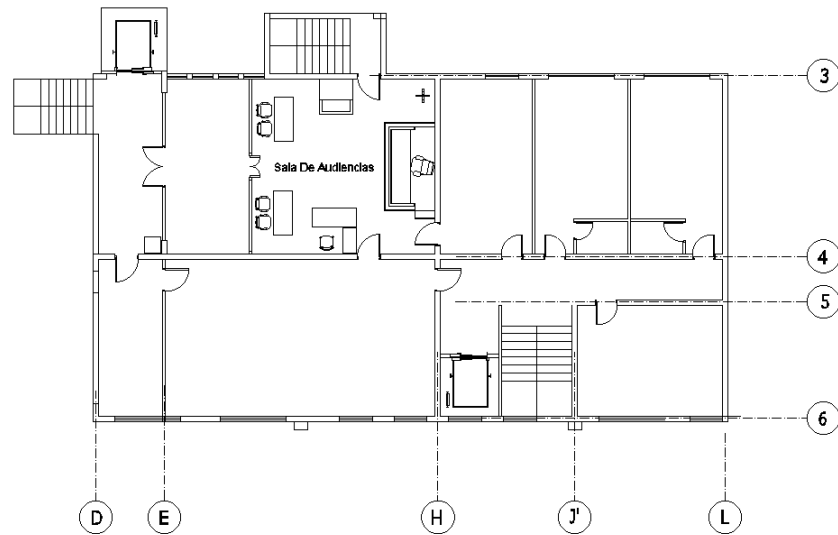


Ilustración 2: Propuesta de distribución

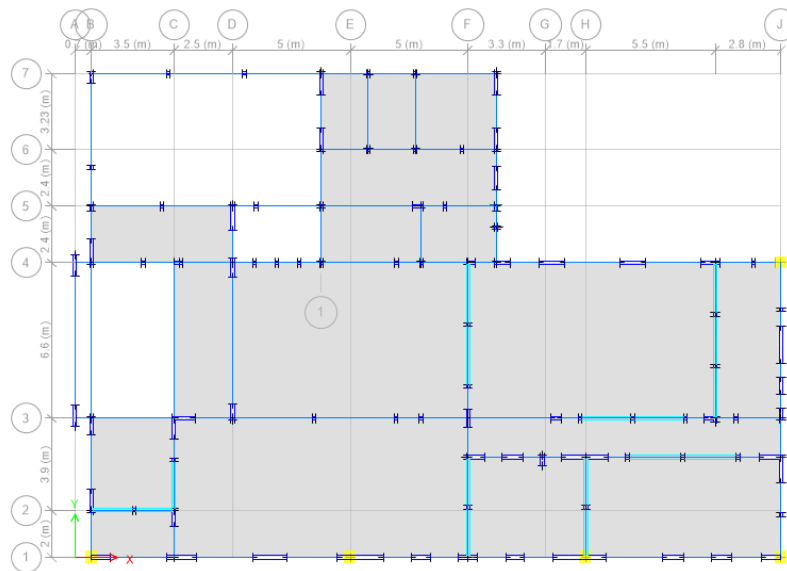


Ilustración 3: Planta del primer nivel en ETABS

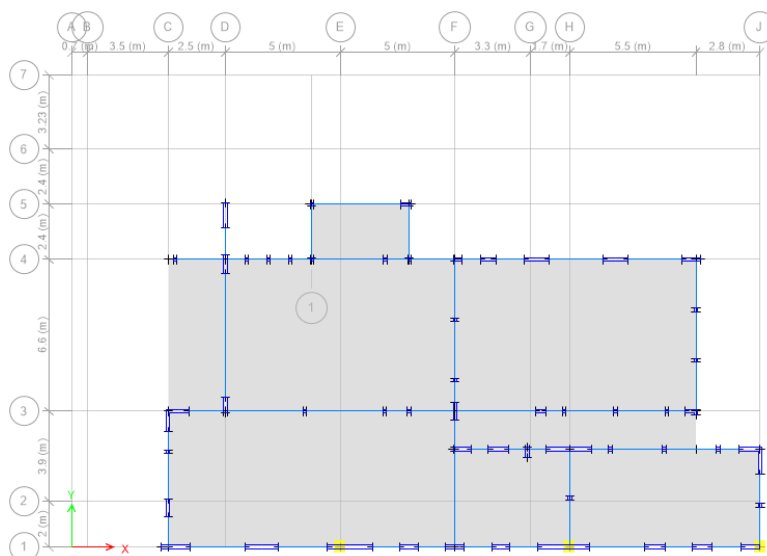


Ilustración 4: Planta segundo nivel en ETABS

Al ingresar este último modelo en ETABS el resultado fue parecido al modelo de dos pisos idénticos, puesto que el sector de la sala de audiencias existente, al no estar diseñado para resistir una losa, tampoco lo está para recibir sobrecargas. Por lo que, **hay elementos estructurales del edificio que se deberán reforzar para poder recibir la carga de este segundo nivel.**

Como se ve en la tabla 5, son los mismos muros que no son capaces de soportar la carga axial solicitante, esta vez no se incluyen los muros W31 y W36 porque la nueva distribución del segundo nivel no alcanza dicha zona del juzgado.

Muro	Carga Axial solicitante (tn)	Resistencia (tn)
W89	18.44	12.1
W90	25.05	12.1
W91	35.96	12.1

Tabla 5: Falla de muros por carga axial

En este caso, además de los muros mencionados, también fallaron algunas vigas del mismo sector. Para la última distribución propuesta dos vigas fallan por resistencia al corte y una por momento, como se ve en la tabla.

Viga	Corte solicitante (tnf)	Resistencia (tnf)
B5	11.76	5
B80	21.45	15.6

Tabla 6: Falla de muros por corte

Viga	Momento solicitante (tn*m)	Resistencia (tn*m)
B78	21.3	21

Tabla 7: Falla de muros por momento

La memoria de cálculo del proyecto original contiene poca información sobre el diseño y resistencia de los elementos estructurales, por lo que el cálculo de la resistencia de vigas y muros mencionados se basó en el capítulo 22 de la norma ACI-318. Todos los elementos estructurales mencionados están señalados en el Anexo 4.

Medidas de Desempeño

Aunque la verificación del modelo propuesto a la empresa indicó que será necesario reforzar la estructura actual para poder ampliar el Juzgado con un segundo nivel, aún se pueden conseguir los objetivos específicos del proyecto que buscan demostrar los beneficios de preferir la propuesta de ampliación.

Como se mencionó en la evaluación económica, la propuesta de ampliación permite disminuir en un **53,2%** el costo total del proyecto, con lo cual se logra el primer Objetivo específico respaldado por su KPI, que inicialmente planeaba una disminución de un 10%.

En cuanto a términos de plazo, se creó una Carta Gantt para la implementación del proyecto en el caso de una Obra Nueva (Anexo 9). El plazo final del proyecto es de 27 semanas. En base a la misma Carta Gantt se puede calcular el plazo de la propuesta de ampliación, eliminando las actividades que no sean necesarias (destacadas en rojo en el anexo), lo cual reduce el plazo en 12 semanas, equivalente a una disminución del **44%**. Así quedan completos ambos objetivos secundarios respaldados por medidas de desempeño.

Conclusiones y Discusión

Como ya se mencionó anteriormente, se logró cumplir con el objetivo general de conocer la capacidad del Juzgado de recibir un segundo nivel sin modificar su estructura actual. Del resultado de la verificación de los elementos estructurales se puede concluir que para realizar una ampliación de la estructura mediante la construcción de un segundo piso será necesario reforzar la estructura actual para que sea capaz de recibir cargas y sobrecargas correspondientes.

Esto debido a que las condiciones que se plantearon en el proyecto original para una posible ampliación del Juzgado no coinciden con las restricciones de funcionamiento actual del mismo. Aun así, fue de un gran valor el análisis realizado ya que demostró qué elementos estructurales son los que se deberán reforzar para la construcción del segundo nivel.

Luego, se logró respaldar los objetivos específicos del proyecto mediante las medidas de desempeño planteadas, superando ampliamente las propuestas iniciales, por lo que queda demostrado que a la corporación Administrativa del Poder Judicial le conviene ampliar el Juzgado actual antes que realizar una construcción nueva, tanto en términos de costo como de plazos.

En cuanto al método de refuerzo que se podría utilizar en la estructura existente, es una buena opción implementar albañilería confinada en el sector más débil, de esta manera se conserva la misma materialidad que en el proyecto original se propuso para soportar sobrecargas de un segundo nivel en la losa L107. Así, disminuirán los esfuerzos recibidos por muros y vigas. Esto se puede notar al comparar el comportamiento de muros y vigas que funcionan como cadena de los muros de albañilería en el mismo modelo (Anexo 11). Reciben esfuerzos mucho menores, casi nulos comparados con el resto de los elementos.

De todas maneras, esta no es la única opción, ya que se pueden utilizar columnas de acero que ayuden a soportar cargas a los muros estructurales, o incluso extender los muros que no resisten su carga solicitante con su misma materialidad. Esta es una decisión que se deberá tomar en la etapa de diseño estructural del proyecto.

Referencias

1. Rodríguez, D. A. (2016). Análisis Sismorresistente mediante el método modal espectral de un edificio habitacional ubicado en la comuna de Tomé.
2. Wiche, P., Rodríguez, B., Granato, D. Estado del Arte de Huella de Carbono para Edificaciones: Resumen para Tomadores de Decisiones. Publicado por Instituto de la Construcción, 2020. Santiago, Chile.
3. Baca, J. N. (2020). Modelamiento ETABS Edificación de 5 niveles.
4. Inmobiliaria y Constructora SayGo. (2017). Memoria de Cálculo Tienda Melipilla.
5. Stuardo, K. J. (2008). Metodología de Evaluación Estructural de Elementos de Hormigón Armado Existentes.
6. Góngora, D., Guzmán, J. A., (2019). Diseño y Revisión de Muros Estructurales de Concreto Reforzado a través de una hoja electrónica.
7. Maldonado de La Torre, L., E. (2 de agosto de 2023). Automatización de Reportes de Análisis No Lineal. Recuperado el día 2 de noviembre del 2023. <https://luismaldonado-py.github.io/>
8. Decreto 47. (1992). Ordenanza General de la Ley general de Urbanismo y Construcciones. 16 de abril del 1992. D.O. N° 34.270.
9. Castilla, F. (2020) IIO527 Espectro NCh433. Consultado el 23 de noviembre del 2023. [Espectro NCH 433](#)

Anexos

Anexo 1: Plano Arquitectónico Juzgado de Garantía La Ligua



Anexo 2: Análisis de Riesgos

		Impacto				
		Mínimo	Moderado	Serio	Elevado	Grave
Probabilidad		1	2	3	4	5
Frecuente	5	5	10	15	20	25
Recurrente	4	4	8	12	16	20
Posible	3	3	6	9	12	15
Inusual	2	2	4	6	8	10
Remota	1	1	2	3	4	5

Tabla 8: Matriz de Riesgos

Evento	Probabilidad	Impacto	Nivel de Riesgo
Retraso de Documentación Necesaria	3	3	9
Actualización de normativas	1	2	2
Cambio de necesidades de cliente	2	2	4
Falta información de entrada del proyecto	3	4	12

Tabla 9: Ponderación de eventos según matriz de riesgos

Anexo 3: Load Combos

Cargas y Sobrecargas	
Peso Específico del Hormigón	2.4 ton/m ³
Peso Propio de Albañilería	2 ton/m ²
Sobrecarga Muerta	0,2 ton/m ²
Sobrecarga Viva	0,25 ton/m ²

Tabla 10: Cargas y Sobrecargas

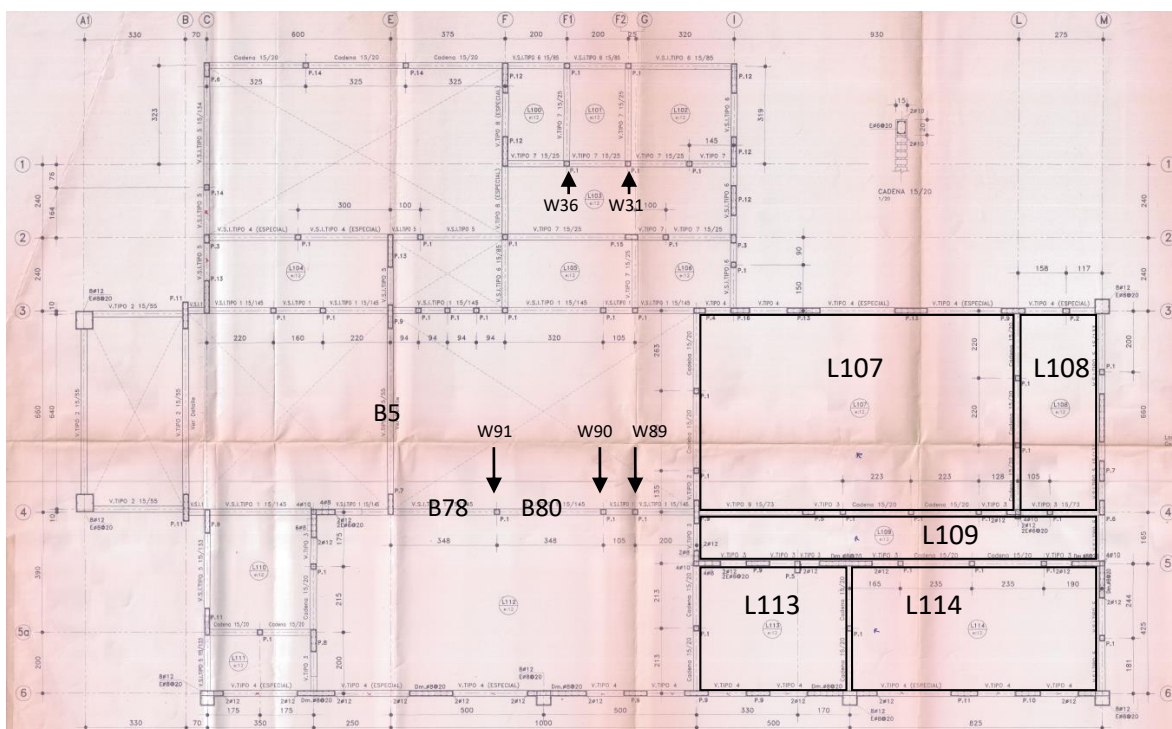
Tipos de carga	
L	Carga Viva
D	Carga Muerta
Ex	Esfuerzo sísmico en sentido X
Ey	Esfuerzo sísmico en sentido Y
W	Carga de Viento

Tabla 11: Tipos de carga

Combinaciones de carga
1,4D
1,2D + 1,6L
1,2D + L
1,2D + 0,8W
1,2D + 1,6W + L
1,2D + 1,4Ex + 1,4Ey + L
0,9D + 1,4Ex + 1,4Ey

Tabla 12: Combinaciones de carga

Anexo 4: Planos Estructural Juzgado de Garantía La Ligua



Anexo 5: Cumplimiento con Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones

OGUC

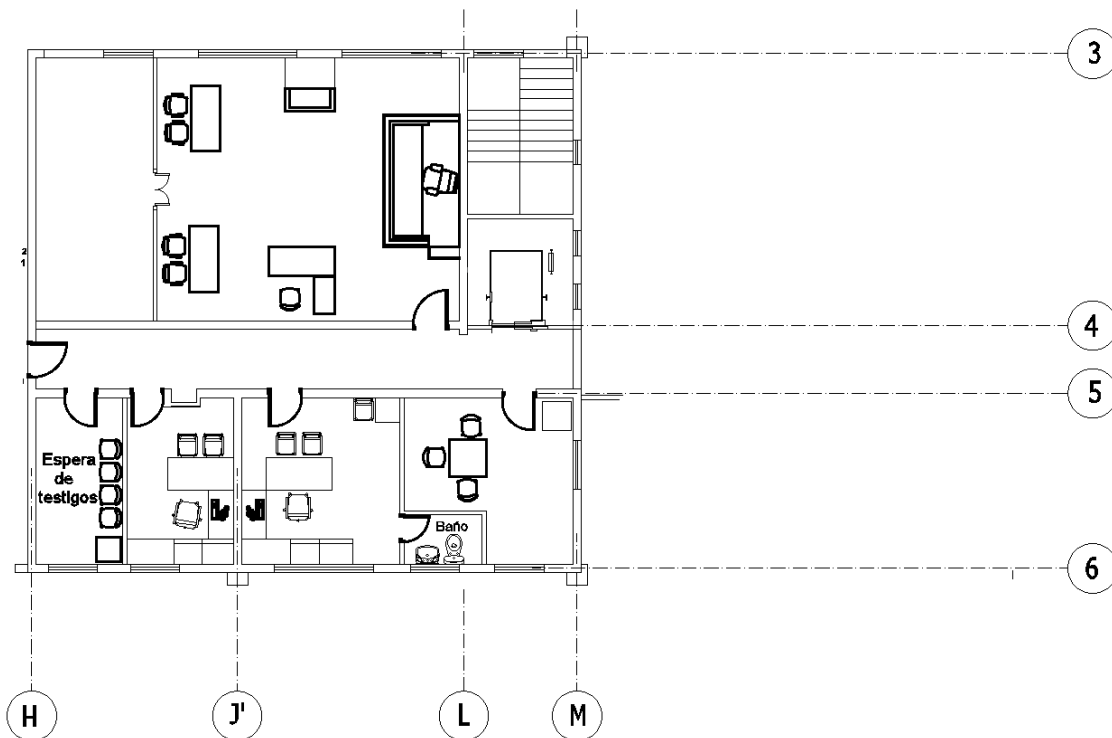
Sobre el *Artículo 2.1.23*. El Plan Regulador Comunal no define una altura máxima, hay que limitar la ampliación por el índice máximo de constructibilidad, que en este caso es de 200%. Además de considerar las rasantes del Art.262.

Sobre los *Artículos 2.6.2. y 2.6.3*. La ampliación no contempla adosamiento ni modificación del muro medianero. Se realizó el trazado de las rasantes máximas en Auto CAD, con las cuales se definieron las siguientes alturas máximas para la ampliación.

	Altura permitida por la OGUC (m)	Altura propuesta para ampliación (m)
Muro Norte	11,78	7
Muro Oriente	29,5	7
Muro Sur (Calle Papudo)	16,4	7
Muro Oriente (Calle Uribe)	32,71	7

Todas las fachadas estarán a una distancia mayor a 4 metros, por lo que la ampliación no se ve afectada por la existencia de vanos.

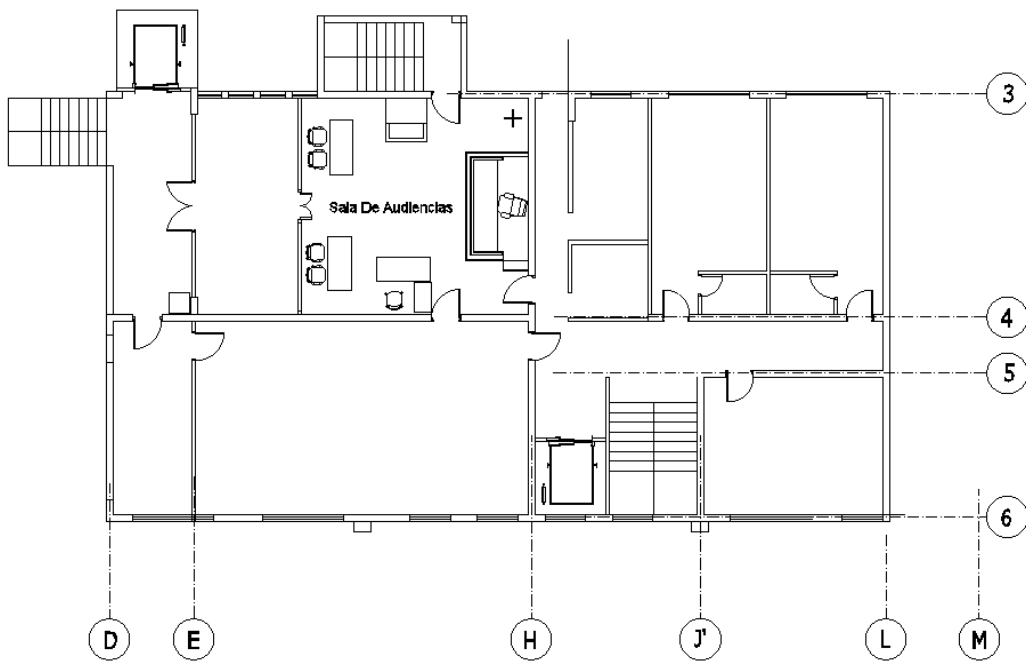
Anexo 6: Primera propuesta de Distribución



Anexo 7: Carta Gantt inicial del proyecto de pasantía

Fases	Partidas	Plazos Individuales	Plazo	Septiembre				Octubre				Noviembre	
				S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Fase Preliminar	Recolección de Planos Arquitectónicos existentes	7 días	29 días										
	Análisis de la normativa vigente	7 días											
	Solicitud única para CIP en Municipalidad de La Ligua	7 días											
	Levantamiento de las necesidades del lugar	1 día											
	Recolección de Planos Estructurales existentes	7 días											
Fase de Análisis Estructural	Diseño de Estructura actual a ETABS	7 días	14 días										
	Análisis de Resultados	7 días											
Fase de Diseño de Soluciones	Diseño de Propuesta	7 días	21 días										
	Diseño Estructural de Propuesta	14 días											
Objetivos Cumplidos													
Fase de Feedback y contrapropuestas	Presentación de Propuesta ante la Empresa	1 día	8 días										
	Revisión de Feedback y cambios necesarios	7 días											

Anexo 8: Distribución final de segundo piso



Anexo 9: Carta Gantt Proyecto de Ampliación

			M1			M2			M3			M4			M5			M6			M7								
Actividad	Descripción	Tiempo	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27
A	Cotización y Evaluación de Terreno	30 días																											
B	Elaboración y Revisión de documentación para construcción	15 días																											
C	Limpieza de terreno	7 días																											
D	Preparación de terreno	7 días																											
E	Construcción de cimientos	30 días																											
F	Construcción de estructuras	45 días																											
G	Losas de Hormigón	30 días																											
H	Techado	14 días																											
I	Tabiquería	14 días																											
J	Instalación de puertas y ventanas	7 días																											
K	Acabado de trabajos exteriores	7 días																											
L	Piso, Cielo y terminaciones interiores	7 días																											
M	Baños	7 días																											
N	Mobiliario	7 días																											
O	Instalación de fontanería	14 días																											
P	Instalación de electricidad	14 días																											
Q	Instalación de Sistemas de Climatización	14 días																											

Anexo 10:

Referencias	Valor Total (UF)	Valor por m2 (UF)
Terreno 800 m2 Limache	4600	5,75
Terreno 800 m2 Quilpué	26000	32,5
Terreno 1100 m2 Quilpué	22290	20,26

Promedio	19,5
----------	------

Anexo 11:

Vigas	Momento solicitante	Corte solicitante
B18 (tipo cadena)	0.2 tn*m	1 tnf
B19 (tipo cadena)	0.12 tn*m	0.1 tnf