



**CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA
CONSTRUCCIÓN**

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURAS

TÉSIS

**DISEÑO Y ANÁLISIS DE SISTEMA DE CIMENTACIÓN PARA
VIVIENDA CON ACOPLAMIENTO A SUELO AFECTADO POR
SUBSIDENCIA**

PRESENTA

I.C. JOSÉ MUÑOZ MUÑOZ

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERIA CIVIL
CON OPCIÓN EN CONSTRUCCIÓN**

TUTOR

Dr. Gerardo Araiza Garaygordobil

COMITÉ TUTORIAL

M. en Ing. Jorge Eudave Muñoz

M. en Ing. Miguel Ángel Soto Zamora

Aguascalientes, Ags., 23 de Julio de 2018

Dra. María del Carmen Martínez Serna
Dirección General de Investigación y Posgrado
PRESENTE

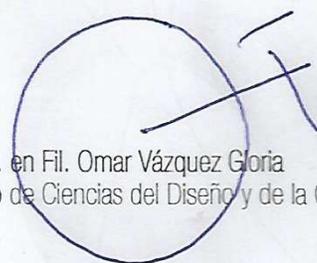
Por medio de este conducto informo que el documento final de tesis titulado: "DISEÑO Y ANÁLISIS DE SISTEMAS DE CIMENTACIÓN PARA VIVIENDA CON ACOPLAMIENTO A SUELO AFECTADO POR SUBSIDENCIA". Presentado por el sustentante: José Muñoz Muñoz con ID: 113151, egresado de la Maestría en Ingeniería Civil cumple las normas y lineamientos establecidos institucionalmente. Cabe mencionar que el autor cuenta con el voto aprobatorio correspondiente.

Para efecto de los trámites que al interesado convengan, se extiende el presente, reiterándole las consideraciones que el caso amerite.

ATENTAMENTE

Aguascalientes, Ags., 13 de noviembre de 2018

"SE LUMEN PROFERRE"



M. en Fil. Omar Vázquez Gloria
Decano del Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción

c.c.p.- Dr. Ricardo Arturo López León – Secretario de Investigación y Posgrado del CCDC.
c.c.p.- Dr. Miguel Ángel Soto Zamora – Secretario Técnico de la Maestría en Ingeniería Civil.
c.c.p.- Dr. Gerardo Araiza Garaygordobil – Tutor de tesis.
c.c.p.- Ing. José Muñoz Muñoz – Egresado de la Maestría en Ingeniería Civil.
c.c.p.- Lic. Delia Guadalupe López Muñoz – Jefe Sección de Certificados y Títulos.
c.c.p.- Archivo

OVG/rbv



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES
FORMATO DE CARTA DE VOTO APROBATORIO

M. EN FIL. OMAR VÁZQUEZ GLORIA

DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL CENTRO DE DISEÑO Y DE LA
CONSTRUCCIÓN

PRESENTE

Por medio del presente como Tutor designado del estudiante **JOSÉ MUÑOZ MUÑOZ** con ID 113151, quien realizó la tesis titulado: **DISEÑO Y ANÁLISIS DE SISTEMAS DE CIMENTACION PARA VIVIENDA CON ACOPLAMIENTO A SUELO AFECTADO POR SUBSIDENCIA**, y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 8 de *Noviembre* de 2018.

Dr. Gerardo Araiza Garaygordobil
Tutor de tesis

Mtro. Jorge Eudave Muñoz
Co-tutor de tesis

Dr. Miguel Ángel Soto Zamora
Aseñor de tesis

c.c.p.- Interesado - José Muñoz Muñoz
c.c.p.- Secretaría de Investigación y Posgrado – Dr. Ricardo Arturo López León
c.c.p.- Jefatura del Depto. De Construcción y Estructuras – Dr. Sergio Ignacio Martínez Martínez
c.c.p.- Consejo Académico - Dr. Gerardo Araiza Garaygordobil
c.c.p.- Minuta Secretario Técnico – Miguel Ángel Soto Zamora

AGRADECIMIENTOS

Agradecer por parte del autor de este trabajo de investigación al congreso nacional de ciencia y tecnología (CONACYT) por el aporte en materia económica para la realización de este posgrado, así como a la Universidad Autónoma de Aguascalientes por brindar el uso de las instalaciones, así como del personal docente y administrativo que colaboró para que el posgrado sea concluido de la mejor manera posible.

A mis padres por que siempre estuvieron ahí cuando los necesité, a mis hermanas por el ejemplo de superación personal y académica, a Yolanda por el apoyo e impulso obtenido a lo largo de este tiempo, a mi colega José Antonio por el tiempo de ayuda, por la disposición y el apoyo tanto en los conocimientos teóricos como practicos para el proyecto, a mis compañeros de maestría por el apoyo y los buenos momentos y amistades relizadas.

Como último, pero no menos importante darle gracias al Dr. Gerardo Araiza G. por las atenciones recibidas, por el apoyo y los consejos bridados para la realización de este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
RESUMEN	11
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 Prólogo	13
1.2 Objetivo General	14
1.3 Objetivos Particulares.....	14
1.4 Alcances	14
1.5 Justificación.....	15
1.6 Hipótesis	16
1.7 Metodología.....	16
1.8 Narrativa por capítulos	17
CAPITULO II: ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO	21
2.1 Mecanismos resistentes al movimiento vertical del suelo.	21
2.2 Estudios del fenómeno de subsidencia, modelación, efectos y soluciones ingenieriles, en el estado de Aguascalientes, México.....	30
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO	34
3.1 Fenómeno de subsidencia, problemática a nivel mundial.....	34
3.1.1 Definición, problemática y efectos del fenómeno a nivel internacional.	34
3.1.2 El fenómeno de subsidencia, caso Aguascalientes	36
3.2 Diseño mecanico, soporte teórico sobre sistemas de transmisión de potencia.	38
3.2.1 Selección de mecanismos para atacar el problema de investigación..	38

3.2.2 Diseño del tornillo sin fin..... 40

3.2.2 Sistema de engranajes para transmision de potencia..... 54

CAPITULO IV: SELECCIÓN DE CASO DE ESTUDIO..... 71

4.1 Elección de proyecto 71

CAPITULO V: DISEÑO, ANÁLISIS Y EVOLUCIÓN DE PROTOTIPO. 74

5.1 Diseño y análisis de estructura soporte. 74

5.2 Primera propuesta de prototipo 78

5.3 Primer diseño; descripción del funcionamiento 80

5.4 Análisis estatico del prototipo..... 86

5.5 Análisis del propotipo desarrollado, necesidad de mejoras 87

5.6 Análisis estatico del prototipo mejorado 92

CAPITULO VI: INTEGRACION DEL PROTOTIPO AL PROYECTO CONSTRUIDO. 94

6.1 Colocacion del prototipo en el proyecto constructivo..... 94

CAPITULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS: PROCESO DE DISEÑO DEL PROTOTIPO Y COMPARATIVA DE PRESUPUESTOS CONTRA VIVIENDA CONVENCIONAL 98

7.1 Análisis evolutivo del prototipo..... 98

7.2 Comparativa de presupuestos; prototipo mejorado contra construcción inicial..... 99

CAPITULO VIII: CONCLUSIONES 108

8.1. Conclusión General 108

8.2. Conclusiones Particulares..... 108

8.3. Nichos de Investigación 109

REFERENCIAS 111

Informe de análisis estático del primer prototipo..... 114

Informe de análisis estático del prototipo mejorado..... 124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factor de forma para ángulos de presión.	48
Tabla 2. Vida de diseño.....	67
Tabla 3. Presupuesto casa habitacion convencional.	100



ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Device for hydraulic lift of reinforced concrete (Laurance Kaderabek, 1981)	21
Ilustración 2. Método y dispositivo para el levantamiento de edificios. (Sudbrack, Berndried, 1993).....	22
Ilustración 3. Method for underpinning buildings (Roland Beck, 2000)	23
Ilustración 4. Lifting method of building construction from top to bottom (Deng Genghou, 2000)	24
Ilustración 5. Method and apparatus for relocating a structure from a first elevation to a second elevation (Petter Vanderklaauw, 2002)	25
Ilustración 6. Apparatus and method for raising buried housings. (Eduard McNulty, 2002)	26
Ilustración 7. Compensation device to be applied on structural beams, foundations, walls, slabs or the like for the compensation of natural subsidences and/or bendings caused by load stresses. (Zenari Rino, 2004)	27
Ilustración 8 Sistema de nivelacion vertiente. (Jhon Ritter y Rebecca Ritter, 2004)	28
Ilustración 9. Construccion de estructura para ajuste de nivel. (Okamura Kenji, 2005)	29
Ilustración 10. Método de pie de acero mediante un sistema de placa. (Takahasi Tatsuo, 2006)	29
Ilustración 11 Sistema integral de rectificación y control de estructuras de mampostería confinada, afectadas por el fenómeno de subsidencia del suelo. (Araiza, 2011)	31
Ilustración 12. Diagrama de la falla Longyao (Peng, 2016)	35
Ilustración 13. Valle de aguascalientes, (Pacheco-Martinez, Hernandez-Marin, Burbey, Ortíz-Lozano, & Zermeño-de-Leon, 2013)	36
Ilustración 14. Mecanismo para elevacion de remoques de carga. (Jost World , 2018)	39
Ilustración 15. Sistema tornillo sin fin.....	45
Ilustración 16, Fuerzas en el sistema tornillo sin fin - engranaje.....	50
Ilustración 17. Características del par de engranes.	55

Ilustración 18. Espesor del borde y profundidad del diente.56

Ilustración 19. Fuerzas aplicadas en el diente del engrane.58

Ilustración 20. Ángulo de presión.62

Ilustración 21. Características de dientes de engranes.67

Ilustración 22. Selección de caso de estudio.....71

Ilustración 23. Sotano donde se pretende colocar el sistema de cimentación con el prototipo a desarrollar.....74

Ilustración 24. Representacion de los esfuerzos presentados en la estructura metalica propuesta.76

Ilustración 25. Seleccin de valor de carga a aplicar en el diseño mecánico del prototipo.....77

Ilustración 26. Primera idea de prototipo79

Ilustración 27. Descripcion del prototipo81

Ilustración 28. Descripción de tren de engranes del prototipo.....81

Ilustración 29. Plano descriptivo engranaje 6.82

Ilustración 30. Descripción de elementos del prototipo.....83

Ilustración 31. Integración del prototipo al sistema de cimentacion.....84

Ilustración 32. Plano de ensamblaje de prototipo85

Ilustración 33. Malla de analisis de desplazamientos.....86

Ilustración 34. Malla de analsis de deformaciones.86

Ilustración 35. Descripcion de sistema mecanico en el nuevo diseño de prototipo.....87

Ilustración 36. Descripcion de funcionamiento del prototipo.89

Ilustración 37. Descripcion de elementos en prototipo mejorado88

Ilustración 38. Plano de dimensiones de prototipo con mejoras.91

Ilustración 39. Mallado de desplazamientos en el proptotipo mejorado.....92

Ilustración 40. Colocación del prototipo en la estructura propuesta.94

Ilustración 41. Cortes ilustrativos de la vivienda con prototipo integrado.....96

Ilustración 42. Alternativas propuestas para la manipulación del prototipo propuesto.96

Ilustración 43. Comparativa entre resultado de tensiones en prototipos.....98

Ilustración 44. Posible situación de zapatas con aparición de falla que secciona el área de contacto. 109



RESUMEN

El fenómeno de subsidencia es una problemática que afecta a varias ciudades alrededor del mundo, como es el caso de Aguascalientes, México; ocasionando grietas y posteriormente hundimientos diferenciales en el subsuelo, provocando daños en la estructura de las edificaciones.

En este trabajo de investigación se desarrolla una solución a dicha problemática, que consiste en el desarrollo de un prototipo que es utilizado en la cimentación del inmueble. Dicho prototipo ofrece la posibilidad de modificar la profundidad del cemento, para así contrarrestar los hundimientos diferenciales que afectan al subsuelo manteniendo la estabilidad estructural de la construcción.

En los capítulos del trabajo se enlistan los primeros bosquejos así como las mejoras aplicadas al prototipo, su análisis al aplicar la carga de la edificación y comparativa con construcciones convencionales.



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Prólogo

“Desde hace aproximadamente 40 años, el estado de Aguascalientes ha comenzado a sufrir daños en edificaciones ubicadas a lo largo de la mancha urbana”(Aranda-Gómez & Aranda-Gómez, 1985); estos daños son ocasionados por el fenómeno de subsidencia; el cual se refiere al hundimiento del suelo producido por distintos factores, como las fallas geológicas, la extracción del agua, cavernas en el subsuelo, entre otros.

En el estado de Aguascalientes predomina un clima semiseco, el cual presenta escasas precipitaciones al año, por lo que a pesar de tener algunos ríos que captan y conducen el agua, la forma más utilizada para la obtención del vital líquido es extraerlo del subsuelo. Con el tiempo, este proceso ha provocado la disminución del nivel freático, generando poros en el subsuelo anteriormente ocupados por el agua subterránea, teniendo como consecuencia hundimientos diferenciales y fracturas, desencadenando un problema importante en las edificaciones de la región.

Así mismo, el territorio del estado llamado "el corazón de México", también es afectado por la existencia de fallas geológicas que, en combinación con la extracción del agua, nos arrojan un problema particular en la superficie terrestre.

Gracias a los estudios que se han realizado en combinación con distintos métodos para la medición del nivel de suelo, se han podido obtener resultados que indican que, en una de las zonas más críticas de la ciudad de Aguascalientes; los hundimientos han alcanzado hasta los diez centímetros por año, dato que añadido a los daños observados en edificaciones; es necesario reservarse la respuesta a la negativa de edificar en ciertos sitios, e innovar en sistemas constructivos que sean compatibles con dichos fenómenos, para contrarrestar los daños en la edificación y satisfacer las diferentes necesidades de la sociedad.

1.2 Objetivo General

Desarrollar el diseño y análisis de el sistema de nivelación de cimentaciones, mediante el desarrollo de un prototipo que contenga un mecanismo de control de profundidad, que sea capaz de adaptarse a los desplazamientos verticales ocasionados por el fenómeno de subsidencia; aplicado a un terreno ubicado en la ciudad de Aguascalientes, el cual presente condiciones desfavorables para desarrollar construcciones convencionales, con el fin de poder aplicar dicho sistema en predios con conflictos similares.

1.3 Objetivos Particulares

1. Consultar el estado del conocimiento de este tema tomando en cuenta patentes a nivel internacional, así como a nivel estatal, relacionadas a la conservación de edificaciones con problemas de hundimiento diferencial.
2. Diseñar el sistema de cimentación mediante un mecanismo que permita la variación de la profundidad de cimientos aislados, con el fin de lograr un acoplamiento por parte de la edificación a los hundimientos diferenciales que se presenten a nivel de cimentación.
3. A través de un software de análisis de elementos finitos, se pretende estudiar el nuevo diseño de sistema de cimentación, para conocer el comportamiento de dichos hundimientos, y generar un modelo en tercera dimensión, donde se muestre el funcionamiento de la cimentación ante los diferentes movimientos que sufre el suelo.
4. Realizar una comparativa del sistema de cimentación diseñado y analizado contra el presupuesto de construcción de una vivienda convencional, con el fin de evaluar las posibilidades de construcción del sistema.

1.4 Alcances

Los alcances del proyecto están orientados teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
1. El terreno seleccionado para la edificación estará ubicado dentro de la ciudad de Aguascalientes, en zonas donde se presenten hundimientos diferenciales a causa del fenómeno de subsidencia ya que el sistema se construirá en suelos con afectaciones comprobadas.
 2. Los materiales de construcción, así como los procesos constructivos referentes a la vivienda de interés social serán propuestos en base a los utilizados en el estado de Aguascalientes, México.
 3. Se selecciona una edificación de tipo vivienda de interés social, con el fin de simplificar el cálculo de la carga aplicada sobre el cimiento y centrar atención en el diseño del prototipo de nivelación estructural.
 4. Elaborar un presupuesto de obra del prototipo de cimentación y compararlo con el de una cimentación de tipo convencional, para comprobar la factibilidad de implementar este nuevo sistema.

1.5 Justificación

"El fenómeno de subsidencia, asociado a la existencia de fallas geológicas y de extracción de agua del subsuelo, es un problema que se presenta en varias ciudades del mundo de una manera importante, poniendo en riesgo el valor inmobiliario de las construcciones, así como en algunos casos la vida de los usuarios."(UNESCO, 1994).

"En la ciudad de Aguascalientes, México, desde hace aproximadamente 40 años se ha comenzado a observar fenómenos que afectan al subsuelo, como agrietamientos y hundimientos, mismos que dieron pie a que el problema fuese estudiado por expertos en el tema. (Aranda-Gómez & Aranda-Gómez, 1985)

En el 2010, el SIFAGG (Sistema de información de fallas geológicas y grietas), siendo parte de la secretaria de obras públicas del estado de Aguascalientes, realizó un censo de inmuebles afectados por fallas geológicas, en zonas de la ciudad altamente afectadas por dicho fenómeno, como lo son el poblado llamado "Puertecito de la virgen", ubicado al norte de la ciudad, o bien cerca del río San Pedro, al oriente de la ciudad, en el fraccionamiento "Del Valle" y alrededores. Se identificaron 209 fallas geológicas, con una longitud total de 316,384 metros lineales y 2,528 inmuebles censados de los cuales se

encontraron afectados por falla geológica 1,864, con daños no atribuibles a fallas geológicas 306 y 358 sin daños, estos datos corresponden a todo el valle.”(SIFAGG, 2017)

Evidentemente, las afectaciones son considerables, por lo que es importante tomar consideraciones a futuro. Si bien en las construcciones afectadas, el proceso de nivelación es complicado, es claro que se pueden tomar ciertos criterios o seguir métodos especificados para construir en los lugares donde se tenga el escenario más crítico, y así controlar los distintos movimientos que pudiera sufrir el suelo en un futuro.

1.6 Hipótesis

Es posible mantener el óptimo estado de seguridad estructural de un inmueble construido sobre suelo afectado por el fenómeno de subsidencia mediante la implementación de prototipo, el cual contiene un mecanismo diseñado a base de elementos como engranes y tornillos sin fin, colocados en la cimentación de la edificación; mismo que se acciona al detectar hundimientos diferenciales en el subsuelo, generando desplazamientos verticales de los cimientos aislados, con el fin de modificar su profundidad y adecuarse a los hundimientos del suelo; manteniendo la seguridad estructural del inmueble.

1.7 Metodología

- 1) A través del análisis de la información certificada acerca del fenómeno de subsidencia, conocer cuales son las características y limitantes que presentan los suelos afectados hasta la actualidad, así como daños que ocasionan en la estructura de las edificaciones desplazadas en estas zonas de conflicto.
- 2) Localizar en el Estado de Aguascalientes, las zonas con suelos afectados por subsidencia; a través de un análisis de sitio, obtener datos relacionados con la tasa de hundimiento por periodo de tiempo;

identificar la problemática y obtener los puntos de partida para diseñar un prototipo de cimentación.

- 3) Proponer un anteproyecto de vivienda social, para generar cálculos relacionados a la carga de diseño, la cual nos da el punto de partida para comenzar el diseño del sistema de cimentación.
- 4) Desarrollar en primera instancia el prototipo que se implementará en el sistema de cimentación para contrarrestar la problemática de los hundimientos diferenciales.
- 5) Con ayuda de un software de modelación en tres dimensiones, se modelará el mecanismo prototipo, que complementará el sistema de cimentación a base de zapatas aisladas, con el fin de obtener resultados de comportamiento de esfuerzos en dichos elementos, e ir realizando las correcciones y mejoras correspondientes.
- 6) Una vez terminado el análisis del prototipo mediante el software, se realiza la integración al proyecto de vivienda, así mismo una comparativa económica y constructiva del prototipo contra el sistema de edificación convencional, evaluando las fortalezas, oportunidades y debilidades del sistema de cimentación desarrollado.

1.8 Narrativa por capítulos

CAPITULO I: INTRODUCCION

En el capítulo primero, se presenta la introducción general a la tesis. Se presenta el prólogo, así como el tema de estudio y se sitúa en el contexto general de investigación en que se desenvuelve. Enseguida se plantea cuál es el objetivo general de estudio y se definen los objetivos particulares, así como los alcances de este. Por último, se describe la metodología de trabajo y la estructura del documento.

CAPITULO II: ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

En el segundo capítulo se muestra un panorama general del estado actual del conocimiento situando al lector en el contexto de los estudios referentes a sistemas de cimentación o recuperación de edificios dañados a causa de hundimientos en el subsuelo.

CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

A lo largo de este apartado se presenta al lector la información a fondo del problema de subsidencia en el estado de Aguascalientes, así como las bases y teoría referente al diseño mecánico, mediante el cual se pretende proponer una solución al problema de hundimientos verticales.

CAPITULO IV: SELECCIÓN DE CASO DE ESTUDIO

Este capítulo se describe el fundamento de la elección del caso de estudio, la razón por la cual se selecciono el tipo de edificación, así como la localización de esta.

CAPITULO V: DISEÑO, ANÁLISIS Y EVOLUCIÓN DEL PROTOTIPO

El capítulo aborda todo lo relacionado al proceso de evolución del prototipo, abarcando desde el primer bosquejo hasta las adecuaciones finales para su correcto funcionamiento.

Posteriormente se realiza una descripción de las distintas partes que integran al prototipo final.

CAPITULO VI: INTEGRACIÓN DEL PROTOTIPO AL PROYECTO CONSTRUCTIVO

Los temas que se abordan en este capítulo hablan de la integración del prototipo detallado en el capítulo anterior a la obra de edificación que sustenta el diseño el mecanismo en cuestión.

CAPITULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS: PROCESO DE DISEÑO DEL PROTOTIPO Y COMPARATIVA DE PRESUPUESTOS CONTRA VIVIENDA CONVENCIONAL

En este capítulo se hace una comparativa de los análisis estáticos de las etapas de diseño del prototipo, con el fin de discutir las fortalezas y debilidades de los prototipos estudiados.

Posteriormente se compara el presupuesto de sistema de cimentación conformado por el prototipo mejorado contra el presupuesto de cimentación convencional en la vivienda, con el fin de evaluar el posicionamiento del sistema en el mercado actual.

CAPITULO VIII: CONCLUSIONES

En el capítulo octavo se presentan las conclusiones de la tesis, nichos de investigación, así como se plantean posibles líneas de investigación futura, determinadas durante la realización de esta investigación.



CAPÍTULO

II

ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

CAPITULO II: ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

2.1 Mecanismos resistentes al movimiento vertical del suelo.

La necesidad de innovación en sistemas de cimentación acoplables a discontinuidades en el suelo donde son desplantados surge debido al problema geológico que se presenta en distintos lugares del mundo.

Varios países se enfrentan a dichos problemas del subsuelo; para el caso del fenómeno de hundimiento a causa de subsidencia, según (Ortega-Guerrero y Carrillo, 2010), los países más afectados por fenómenos de subsistencia son México, Estados Unidos, China, Gran Bretaña, entre otros. Es por eso por lo que varios de los autores de las investigaciones que se mostraran a continuación son de dichas nacionalidades.

Cabe mencionar que el fenómeno de subsidencia no será el único problema de investigación que originó las patentes a mostrar, puesto que los hundimientos diferenciales también se pueden presentar en el subsuelo por otras causas ajenas a la problemática de subsidencia.

En el año de 1981, Laurence Kaderabek patentó un sistema adaptable a los hundimientos, el cual funciona principalmente con un gato hidráulico que es capaz de nivelar vigas de acero.

En la ilustración es posible observar los distintos elementos que lo conforman; es un sistema sencillo para elevar losas de concreto propensas a hundimientos. Se integra por una viga horizontal con una perforación en un extremo y una abertura lateral, que se acopla a un poste vertical con una serie de aberturas espaciadas; un brazo de elevación conectado a la viga intermedia, teniendo dicho brazo de elevación una superficie adaptada para extenderse a través de una abertura en la losa de concreto y encajarse el borde

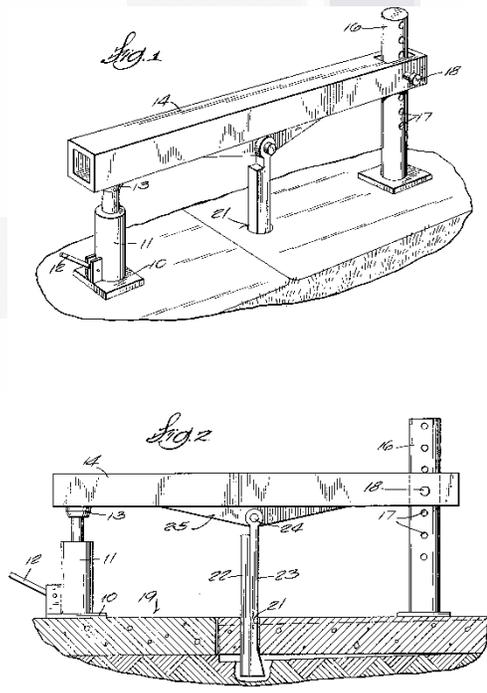


Ilustración 1. Device for hydraulic lift of reinforced concrete (Laurance Kaderabek, 1981)

El mecanismo se basa en un sistema que se inserta a la cimentación de mampostería, como se muestra en la figura 2. Consta de cilindros y pistones hidráulicos, los cuales son insertados en los cimientos de mampostería, y con ello nos permite evitar los desequilibrios de las edificaciones, así como ciertas discontinuidades en los cimientos de mampostería de edificios históricos que, debido a su edad, comienzan a sufrir daños en su composición.

El inventor muestra una importante consideración sobre el método patentado, ya que, como se muestra en la figura descriptiva del mecanismo, es necesario colocar tubos de acero en los límites de los pistones con la cimentación existente, además de seleccionar un área para perforar con base a un análisis, teniendo en cuenta que el sistema debe ser aplicado en un área homogénea para su correcta ejecución. (Francia Patente nº 0457969, 1990)

En el año 2000, Roland Beck propuso un sistema de cimentación enfocado a la prevención de edificios históricos; consta de un sistema de apuntalamiento de los elementos de la cimentación, que se integran a dos soportes externos, garantizando que todos los apoyos descargarán las cargas en un cuerpo nivelado de cimentación, logrando el trabajo del sistema a un mismo nivel en toda la edificación.

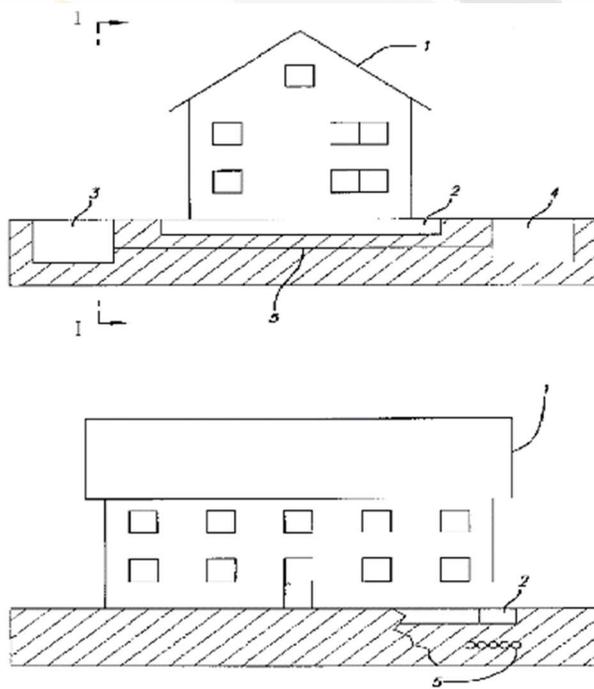


Ilustración 3. Method for underpinning buildings (Roland Beck, 2000)

El método consiste en respaldar edificios con al menos un elemento alargado de soporte en paralelo con la base del edificio, por lo que al menos una pared lateral entera del edificio estará sometida a este nuevo sistema, obteniendo una alternativa para soportar el peso del edificio.

Este método ofrece ventajas como preservar el buen estado de una edificación antigua mediante un proceso no agresivo; con costos relativamente bajos y además ofrece ventajas en caso de que se presente un terremoto, ya que se refuerza la resistencia a ondas que provendrían de las cavidades del subsuelo. (Estados Unidos Patente nº 6062770, 1997)

En el mismo año, Deng Genghou presenta un mecanismo basado en gatos hidráulicos subterráneos que permiten el desplazamiento tanto descendente

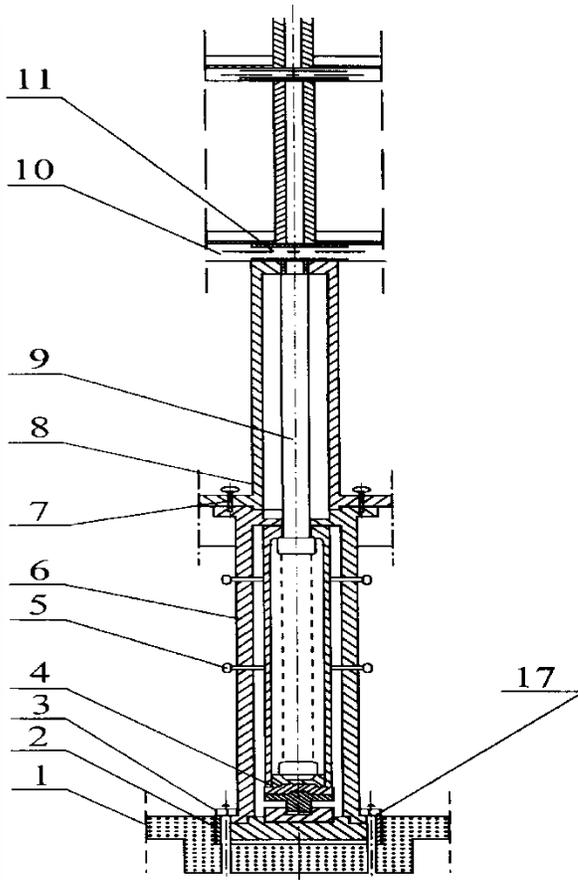


Ilustración 4. Lifting method of building construction from top to bottom (Deng Genghou, 2000)

como ascendente de la edificación, presentando defectos como largo periodo de construcción, alto costo y las protecciones de seguridad, pero se puede utilizar en obra de considerable magnitud como construcciones altas o rascacielos, estructuras con muros de contención e incluso en puentes de magnitudes considerables.

Consiste en colocar en la parte más baja del edificio, al nivel de la cimentación, gatos hidráulicos unidos a las columnas de acero de todo el edificio; presenta la particularidad de sustituir las columnas de un piso en específico, para poner a trabajar los gatos

hidráulicos por piso; para realizar la sustitución del elemento estructural, se emplean columnas huecas, por la cuales se integrará al nuevo sistema.

En la figura 4 se muestra tal mecanismo, observamos en la parte inferior, el mecanismo de elevación de la columna a ingresar, impulsada por gatos hidráulicos hasta el nivel de colocación.(China Patente nº 6082058 , 1998).

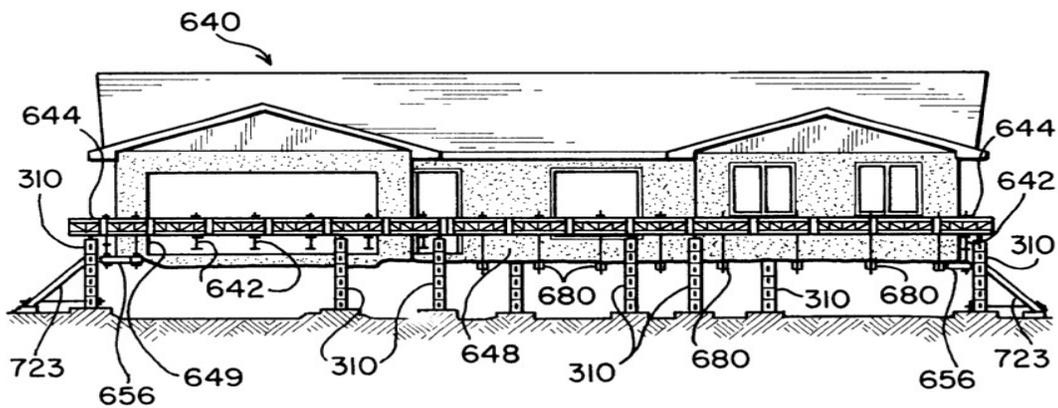


Ilustración 5. Method and apparatus for relocating a structure from a first elevation to a second elevation (Petter Vanderklaauw, 2002)

En el año 2002, PetterVanderklaauw desarrolla un sistema de cimentación donde eleva las edificaciones, a través de un sistema de cimentación a base de vigas de cimentación; en el cual se realiza una conexión de los elementos de la cimentación con el fin de formar una estructura uniforme, con el fin de que se pueda transportar carga de uno a otro. Se realizan orificios en dichas uniones con el fin de colocar cilindros hidráulicos. Los cilindros hidráulicos se pueden montar dentro de las ranuras de los postes para la elevación de la rejilla, y así levantar la estructura. La estructura puede ser elevada progresivamente a cualquier altura mediante la adición de elementos de construcción adicionales a los postes de elevación en el espacio creado por la extensión de los cilindros hidráulicos, y luego la reubicación de los cilindros dentro de los mensajes para elevar aún más la estructura. (Holanda Patente nº 6379085, 1999)

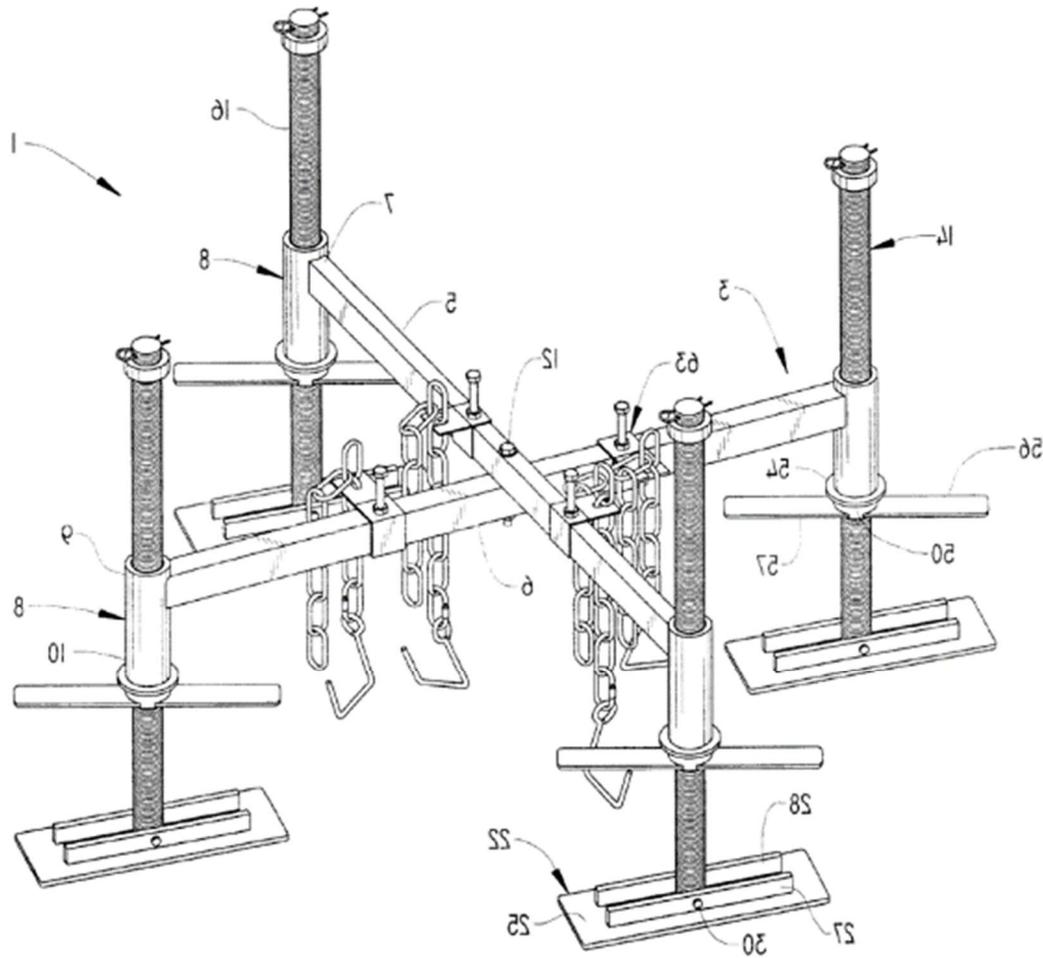


Ilustración 6. Apparatus and method for raising buried housings. (Eduard McNulty, 2002)

En el año de 2002, Eduard McNulty presenta su invento de nombre "Apparatus and method for raising buried housings" (Un aparato y un método para levantar casas enterradas).

Consiste en un sistema que puede elevar casas que han quedado enterradas, sin necesidad de excavar en los terrenos adyacentes al proyecto; lo cual reduce costos de proyecto y tiempo para recuperar el nivel óptimo de la edificación.

Consiste en fijar un bastidor, que estará unido a la cimentación de la estructura, así como a la superficie del terreno; el cual se puede manipular para obtener una elevación de la edificación existente, como se muestra en la figura 6. (Estados Unidos Patente nº 6464431, 2001)

Posteriormente, en el año 2004, Zenari Rino presenta un sistema de nombre "Dispositivo de compensación aplicado en las vigas estructurales, cimientos, paredes, losas o similares para la compensación de hundimientos naturales y / o flexiones causadas por el

estrés de carga"; este dispositivo para muros o elementos de se encuentran fatigados comienzan a ceder ante sometimiento de esfuerzos.

El dispositivo nos permite compensador de hundimiento se muestra en la figura

especialmente diseñado para elementos sometidos a flexión, como

regularmente pueden ser vigas alargadas.

Este dispositivo de

compensación incluye una pluralidad de elementos de contención, en los cuales se lleva a cabo el proceso mediante la utilización de dos o más hojas. Los materiales adecuados para las láminas pueden ser de acero, caucho reforzado, nylon o carbono. Las hojas se doblan y conforman de manera adecuada. Los elementos que contiene dicho sistema se colocan de lado a lado y de forma consecutiva están conectados entre sí a través de elementos de conexión. Los elementos de conexión se llenan con un fluido adecuado que puede ser líquido o gaseoso. De esta manera, es posible obtener la intercomunicación entre uno o mas elementos expandiéndose a cada uno de estos.

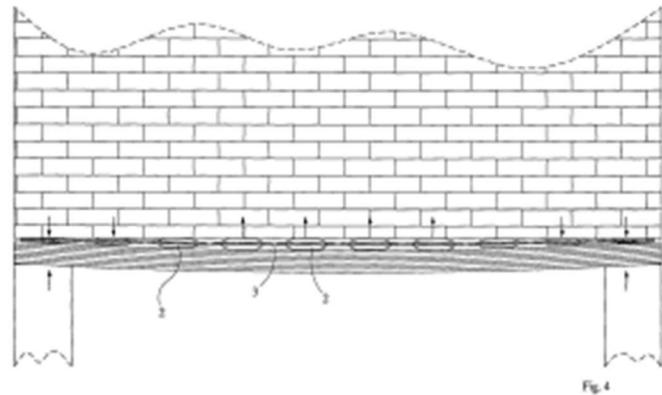


Ilustración 7. Compensation device to be applied on structural beams, foundations, walls, slabs or the like for the compensation of natural subsidences and/or bendings caused by load stresses. (Zenari Rino, 2004)

En el mismo año 2004, Jhon Ritter y Rebecca Ritter publicaron un sistema de nivelación para edificios prefabricados de pequeña magnitud, como

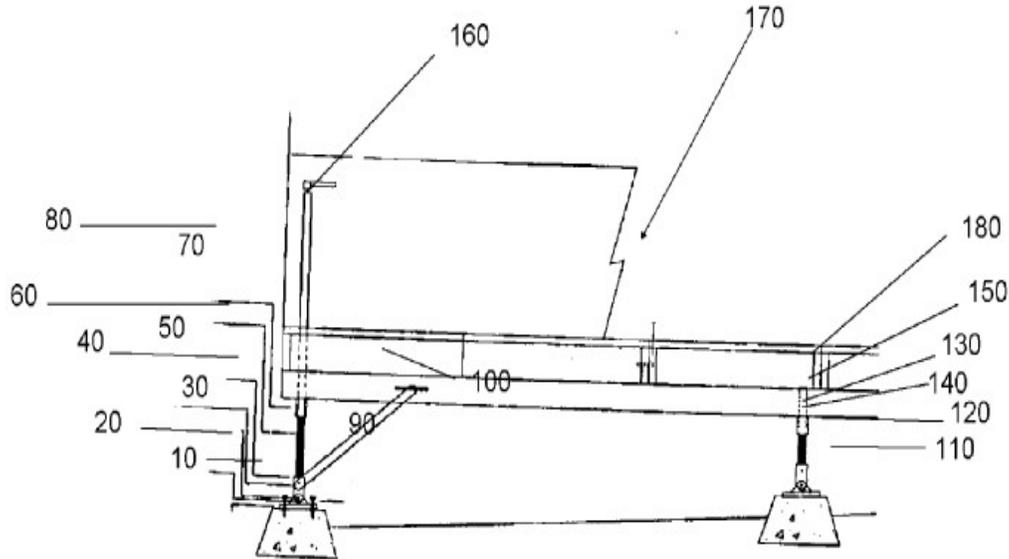


Ilustración 8 Sistema de nivelación vertical. (Jhon Ritter y Rebecca Ritter, 2004)

cobertizos y bodegas.

El sistema incluye una serie de soportes y bases de concreto para recibir los brazos de soporte verticales para el cobertizo, como se puede observar en la figura 8. Las bases tienen cada uno los puntos de pivote para recibir las vigas de ayuda inclinadas. Los puntos de giro permiten al usuario colocar las vigas de soporte inclinado en el ángulo correcto en función de la inclinación del terreno. Así, las bases tienen la capacidad de recibir sujetadores mecánicos, tales como tornillos, para estabilizar el sistema de apoyo a las bases de concreto.

En el año de 2005, Okamura Kenji patenta el sistema "Construcción de estructura para el ajuste de nivel", el cual consiste en colocación de cilindros hidráulicos en las uniones de las columnas con la planta del edificio.

Cuando se

presente alguna

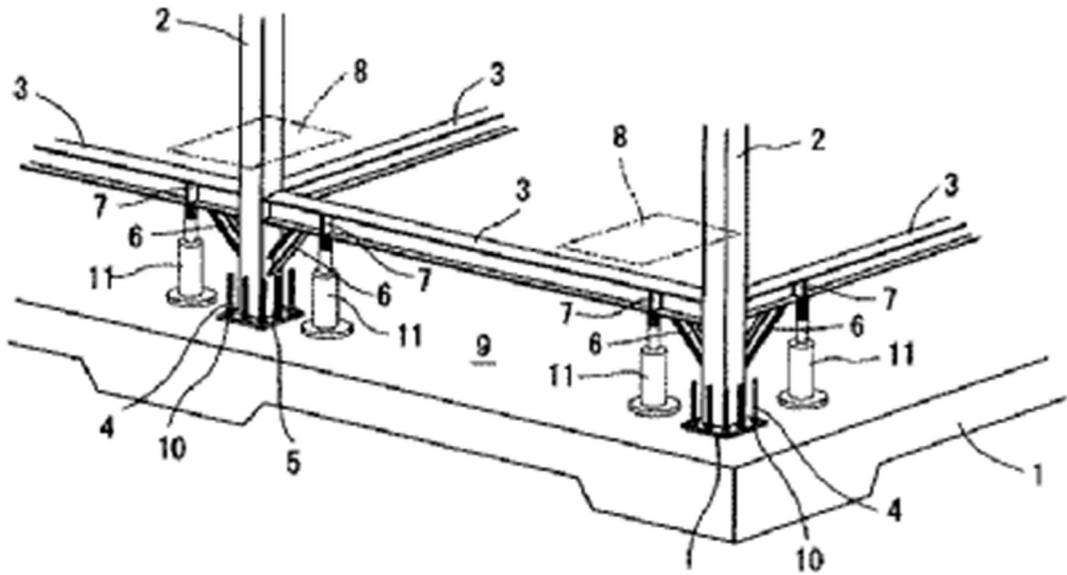


Ilustración 9. Construcción de estructura para ajuste de nivel. (Okamura Kenji, 2005)

estructural.

En el año

2006, Takahasi

Tatsuo

patentó un

sistema de

cimentación

de nombre "Método de pie de acero mediante un sistema de placa", basado en el trabajo de un cilindro hidráulico, que se activa en el momento en que se presentan hundimientos en el subsuelo.

Lo interesante de este sistema es que, como se muestra en la figura 10, se nos presenta una edificación con la aplicación de este sistema en las cuatro esquinas de una edificación, donde se implementa una placa de acero en unión con el suelo, la cual garantiza un área de contacto mayor, con el fin de tener el suficiente espacio para lograr que el cilindro hidráulico pueda

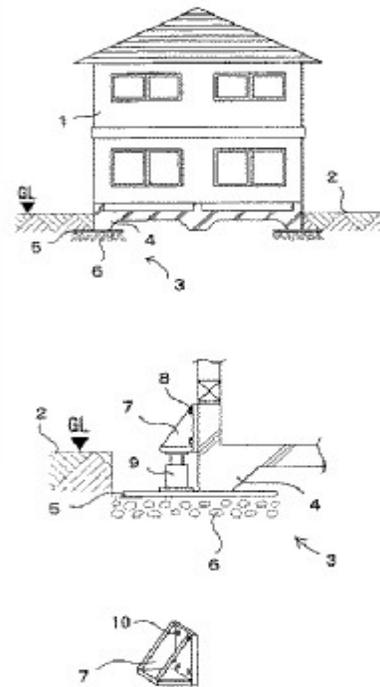


Ilustración 10. Método de pie de acero mediante un sistema de placa. (Takahasi Tatsuo, 2006)

trabajar correctamente y además, prevenir hundimientos diferenciales, donde el área de contacto sería menor y podría ocasionar un proceso defectuoso de transmisión de cargas, y desembocar en daños estructurales.

2.2 Estudios del fenómeno de subsidencia, modelación, efectos y soluciones ingenieriles, en el estado de Aguascalientes, México

Como se ha mencionado anteriormente, el estado de Aguascalientes presenta daños por subsidencia desde hace aproximadamente 40 años, por lo cual es un fenómeno que requiere atención, pues los daños se han ido incrementando con el paso de los años.

Es por ello por lo que es vital en este capítulo mencionar las distintas investigaciones que se han realizado recientemente sobre el fenómeno aplicado al caso particular de la ciudad de Aguascalientes.

En el año del 2011 el Dr. Gerardo Araiza Garaygordobil realizó uno de los primeros proyectos de investigación estatales relacionados a los daños en edificaciones afectadas por el fenómeno de subsidencia.

El proyecto de nombre "Sistema integral de rectificación y control de estructuras de mampostería confinada, afectadas por el fenómeno de subsidencia del suelo", busca solucionar los hundimientos del subsuelo mediante un prototipo a base de una estructura metálica con pistones hidráulicos, los cuales cumplen la función de nivelar los elementos de cimentación (muros de mampostería), con el fin de mantener el correcto nivel de desplante y así dar estabilidad a la edificación.

El sistema desarrolla únicamente una nivelación vertical, pero el autor asegura que sin embargo es eficaz en su tarea de reparar el hundimiento diferencial que presenta el edificio y con ello dar una mayor vida útil al mismo. (Araiza Garaygordobil, 2011)

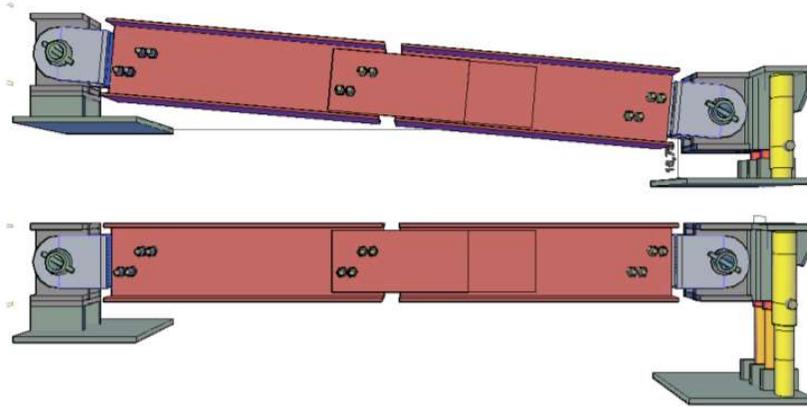


Ilustración 11 Sistema integral de rectificación y control de estructuras de mampostería confinada, afectadas por el fenómeno de subsidencia del suelo. (Araiza, 2011)

En el año 2009, como tesina para obtener el grado de maestro en ingeniería civil con opción a seguridad estructural, Fernando de la Sierra Serna presentó la investigación "Reparación estructural de una casa habitación afectada por subsidencia en Aguascalientes", investigación en la cual se analizó el problema de subsidencia en Aguascalientes, así como en una casa habitación afectada por dicho problema; gracias a la investigación del problema, se pudieron aplicar reparaciones con el fin de que pudiera volver a ser habitable y recuperar un poco de su valor monetario.

En el año de 2013, como tesina para obtención del grado de maestro en ingeniería civil, el I.C. Miguel Ángel Soto Zamora presentó el proyecto "Diseño, construcción e instrumentación de plataforma simuladora de hundimientos diferenciales a escala real".

Modelo construido con el fin de simular los hundimientos causados por el fenómeno de subsidencia en la ciudad de Aguascalientes, en el cual se han probado modelos compuestos de distintos materiales con el fin de obtener la diferente resistencia de los mismos al estar expuestos a dicho fenómeno.

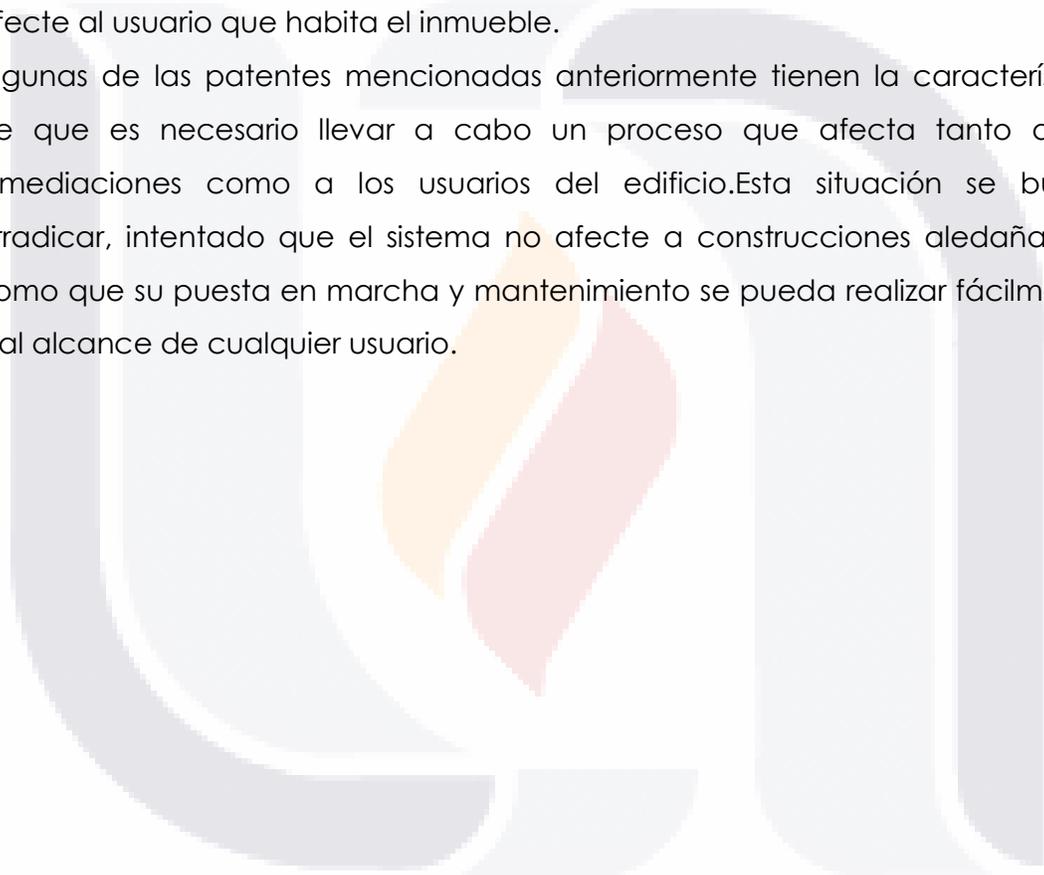
En el año 2015, Luis Alfredo Hernández Castillo modeló un sistema de nombre "Investigación experimental sobre el comportamiento estructural de construcciones a base de perfiles de acero rolado en frío de pared delgada afectadas por hundimientos diferenciales", investigación orientada a la construcción de viviendas construidas en base a perfiles de acero en frío. Se

construyó un prototipo de sistema y se simularon los hundimientos en la plataforma construida por Soto Zamora, donde se pudieron observar deformaciones en los materiales al estar expuestos a dichos hundimientos.

Conclusión del capítulo estado del arte.

A opinión del autor es necesario el diseño de un prototipo que permita adaptar la edificación a los hundimientos diferenciales de una manera en la que no se afecte al usuario que habita el inmueble.

Algunas de las patentes mencionadas anteriormente tienen la característica de que es necesario llevar a cabo un proceso que afecta tanto a las inmediaciones como a los usuarios del edificio. Esta situación se busca erradicar, intentado que el sistema no afecte a construcciones aledañas así como que su puesta en marcha y mantenimiento se pueda realizar fácilmente y al alcance de cualquier usuario.





CAPÍTULO

III

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

3.1 Fenómeno de subsidencia, problemática a nivel mundial.

3.1.1 Definición, problemática y efectos del fenómeno a nivel internacional.

La Real Academia Española define el término de subsidencia como “hundimiento progresivo de la superficie del terreno como consecuencia de trabajos de minería, colapso de cavidades subterráneas, extracción de agua o petróleo o desecación.” (Real Academia Española, 2001)

Los efectos de la subsidencia en el subsuelo en primera instancia se comienzan a observar como fallas en la superficie del suelo y posteriormente en hundimientos diferenciales. La definición de falla que ofrece el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), se define como la fracturación del suelo en una zona debido al desplazamiento relativo de bloques paralelos a la fractura (INPRES, 2015). Las fallas geológicas han sido estudiadas a lo largo y ancho del territorio mundial (UNESCO, 1994), siendo objeto de estudio para importantes organismos internacionales.

Continuando con el proceso de afectación, al formarse dos bloques separados por la falla, se comienza a dar un hundimiento en alguno de ellos, como consecuencia al vacío generado por la extracción de algún recurso (como se muestra en la definición del fenómeno de subsidencia), llamando a este proceso hundimientos diferenciales.

La siguiente ilustración representa el fenómeno de subsidencia en la nación china, concretamente se refiere a la falla de Longyao, ubicada en la parte norte de la nación (Peng, 2016). Podemos observar los distintos estratos del subsuelo, los cuales se ven alterados en su continuidad por la existencia de una falla, la cual divide en dos secciones al estrato general.

Se puede observar como hay un cambio de nivel en los dos bloques, así como un desplazamiento en sentido contrario a causa de la discontinuidad en el subsuelo.

Otro elemento para destacar en la imagen 12, es que se encuentra un sifón del cual se expulsa agua, indicando como se define el fenómeno; esta realizando en la zona la extracción de algún recurso del subsuelo, el cual genera cavidades en el mismo, provocando planos de falla y discontinuidades.

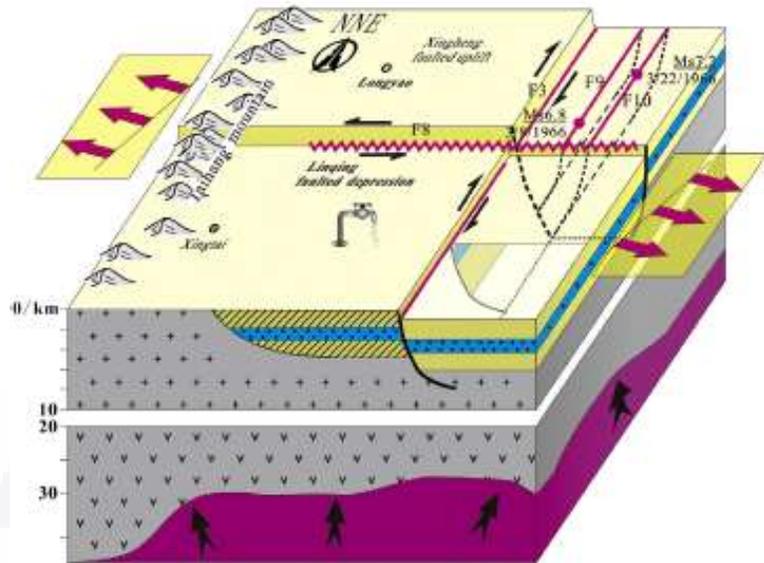


Ilustración 12. Diagrama de la falla Longyao(Peng, 2016)

Como hemos observado, el fenómeno de subsidencia se presenta en el continente asiático así como en distintas partes del mundo. A continuación, se muestra una tabla que pertenece a una publicación de Galloway y Burbey donde se muestran las tasas de hundimiento en diferentes zonas del planeta. Con ello nos damos cuenta de la gravedad del problema así como de la cantidad importante de naciones afectadas.

Location	Rate (mm/year)	Periodo
Bangkok, Thailand	30	2006
Bologna, Italia	40	2002-2006
Changzhou, People Republic of China	10	2002
Coachella Valley, California, US	70	2003-2009
Datong, People Republic of China	20	2004-2008
Houston-Galveston, Texas, US	40	1996-1998
Jakarta, Indonesia	250	1997-2008
Kolkata, India	6	1992-1998
Mashhad Valley, Iran	280	2003-2005
Mexico City, Mexico	300	2004-2006
Murcia, Spain	35	2008-2009
Phoenix-Scottsdale, Arizona, US	15	2004-2010
Saga Plain, Japan	160	1994

Semarang, Indonesia	80	2007-2009
Tehran Basin, Iran	205-250	2004-2008
Tokyo, Japan	40	1988-1997
Toluca Valley, México	90	2003-2008
Yunlin, Republic of China	100	2002-2007

Table 1. Extracto de tabla de hundimiento en distintas localizaciones. (Galloway & Burbey, 2011)

3.1.2 El fenómeno de subsidencia, caso Aguascalientes

El territorio mexicano se caracteriza por ser una superficie de múltiples altiplanos a lo largo y ancho de su extensión, teniendo como principales estructuras naturales a las cadenas montañosas identificadas como Sierra Madre Oriental y Sierra Madre Occidental. El paso de miles de años y los distintos procesos naturales dieron pie a la formación del valle, en la zona ubicada entre las Sierras, formado por sedimentos de tipo granular, aluvia y lacustre, los cuales funcionan como un medio de almacenamiento de una cantidad importante de agua en el subsuelo (Pacheco-Martinez, Hernandez-Marin, Burbey, Ortíz-Lozano, & Zermeño-de-Leon, 2013)

La necesidad de obtener el vital líquido en lugares semidesérticos incentiva la creación de pozos de extracción, con el fin de extraer el agua del subsuelo, único medio para este tipo de clima semiárido, ocasionando un nuevo sistema de esfuerzos aplicado al subsuelo, el cual no tiene la misma capacidad de carga que contaba cuando tenía agua almacenada.

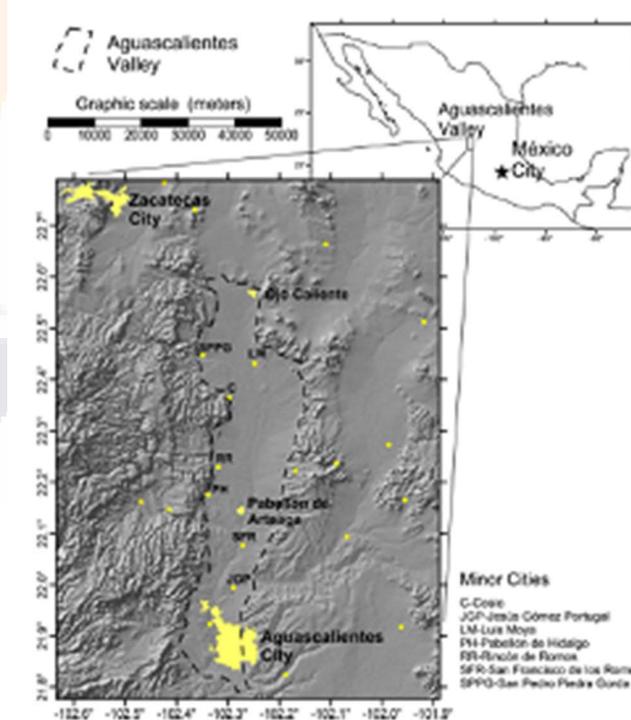


Ilustración 13. Valle de aguascalientes, (Pacheco-Martinez, Hernandez-Marin, Burbey, Ortíz-Lozano, & Zermeño-de-Leon, 2013)

Cuando el hombre habita este tipo de terrenos afectados, aplicando pesos considerables de las múltiples obras de infraestructura, se obtienen fracturas y hundimientos paulatinos (diferenciales) en el subsuelo causando múltiples daños a la infraestructura, desde el agrietamiento en estructuras de mampostería hasta el desnivel en instalaciones hidráulicas provocando un mal uso e inundaciones de estas.

El fenómeno de subsidencia no se centra en algún sitio en específico, sino que se han observado secuelas del fenómeno en varios países de los cinco continentes.

La ciudad de Aguascalientes, capital del estado del mismo nombre, presenta todas las características necesarias para el desarrollo de este tipo de fenómeno geológico, en la figura 14 se ubica en el mapa nacional, así como se puede observar la formación del valle entre las cadenas montañosas. Asentada en el valle del bajío mexicano y teniendo un clima semiárido, el excesivo bombeo de agua del subsuelo ocasiona agrietamientos y fracturas, hundimientos diferenciales, así como una reactivación de fallas geológicas preexistentes en el suelo de la ciudad. (Pacheco-Martinez, Hernandez-Marin, Burbey, Ortíz-Lozano, & Zermeño-de-Leon, 2013)

Desde el año de 1980 se comenzaron a monitorear sitios afectados por grietas en la ciudad (Aranda-Gómez & Aranda-Gómez, 1985). Con mayor cantidad de estudios, se ha llegado a obtener hundimientos anuales de hasta 10cm en las zonas más afectadas del estado de Aguascalientes (Pacheco-Martinez, Hernandez-Marin, Burbey, Ortíz-Lozano, & Zermeño-de-Leon, 2013).

3.2 Diseño mecánico, soporte teórico sobre sistemas de transmisión de potencia.

En este apartado del capítulo en turno se pretende recopilar la información teórica necesaria para el diseño de elementos mecánicos, los cuales se propondrán en los siguientes capítulos como la alternativa de solución al problema de investigación presentado anteriormente.

Tal y como sucede en el diseño estructural de edificaciones, en el diseño de mecanismos también se rigen por normas con las que se trabaja en los diferentes países. En nuestro caso fue elegida la norma AGMA (American Gear Manufacturers Association), es la norma que se rige en Estados Unidos de América para el diseño de sistemas de engranaje.

Se menciona que lo que consta en este subcapítulo de diseño mecánico fue obtenido del libro "Diseño de elementos de máquinas", por lo que no se considera como parte ni elaboración del autor en turno. (Mott, 2006)

A continuación, se presenta la información teórica relativa al diseño y cálculo de mecanismos de transmisión de potencia, el cual se conforma de elementos como tornillo sin fin y engranajes. Dichos elementos son desarrollados puesto con ellos se pretende dar respuesta al problema de investigación descrito en el capítulo de introducción.

3.2.1 Selección de mecanismos para atacar el problema de investigación

Anteriormente se ha definido el problema de investigación, por lo que a continuación se procede a describir minuciosamente tanto el funcionamiento como el cálculo de los mecanismos de tanto de tornillo sin fin como de engranajes.

En la vida diaria nos encontramos en interacción con este tipo de mecanismos, pues solo basta observar a nuestro alrededor para darnos cuenta de que al abrir una puerta para acceder a un sitio estamos accionando un mecanismo; y

asi como este ejemplo podemos encontrar infinidad en la vida cotidiana, como el funcionamiento de medios de transporte, ventanillas de vehículos, accionar de persianas, etc... por mencionar algunos.

Es importante recordar que, la ingeniería mecánica a lo largo de los años se ha dedicado entre otras cosas a desarrollar mecanismos que permitan realizar el movimiento de grandes volúmenes de carga mediante el accionar de elementos mecánicos que sean del menor tamaño posible asi como que requieran el mimimo mantenimiento posible, aumentando asi su vida útil.

Analizando los elementos mecánicos en el mercado nos encontramos con la comercialización de un mecanismo que permite la elevación de los



Ilustración 14. Mecanismo para elevacion de remolques de carga. (Jost World , 2018)

semiremolques de carga, el cual se muestra en la figura.

El mecanismo mostrado tiene la capacidad de elevar hasta una carga de 40 toneladas según su manual de usuario, por lo que se deduce que el diseño de un sistema adaptado a la cimentacion de una edificación, con mecanismo de desplazamiento es una buena opción para contrarrestar la problemática de los

hundimientos diferenciales en el subsuelo, a causa del fenómeno de subsidencia.

3.2.2Diseño del tornillo sin fin

El mecanismo del tornillo sin fin se utiliza para transmitir el movimiento y la potencia entre los ejes no situados en el mismo plano, por lo general situados a noventa grados entre sí. La unidad consta de un tornillo sin fin en el eje de alta velocidad que tiene el aspecto general de una rosca de tornillo de potencia, el cual va conectado a una rosca helicoidal cilíndrica. El gusano conduce un tornillo sin fin, que tiene una apariencia similar a la de un engranaje helicoidal. A veces, el tornillo sin fin se conoce como una rueda helicoidal o simplemente una rueda o engranaje.

Existen diversas variaciones de la geometría de las unidades de engranaje de tornillo sin fin disponibles hoy en día. El más común emplea un acoplamiento cilíndrico con un tornillo sin fin que tiene dientes perimetrales, envolviendo parcialmente alrededor del gusano. Esto se denomina un tipo de una sola envolvente de accionamiento del tornillo sin fin. El contacto entre la rosca de la tornillo sin fin y los dientes del engrane es a lo largo de una línea, la cual posee una Buena capacidad de transmisión de potencia. Muchos fabricantes ofrecen este tipo de conjunto como un elemento en conjunto. La instalación del gusano es relativamente fácil porque alineación axial no es muy crítica. Sin embargo, el engrane debe ser cuidadosamente alineado radialmente con el fin de lograr el beneficio de la acción envolvente.

Una forma más simple de accionamiento del engranaje permite un gusano cilíndrico especial para ser utilizado con un engranaje recto estándar o engranaje helicoidal. Ni el gusano ni el equipo requieren de gran precisión de alineamiento, y la distancia entre ejes no es crítica. Sin embargo, el contacto entre las roscas de tornillo sin fin y los dientes del engrane es teóricamente un punto, lo que reduce drásticamente la capacidad de transmisión de potencia del conjunto. Por lo tanto, este tipo se utiliza principalmente para aplicaciones de posicionamiento de no precisión a bajas velocidades y niveles de potencia bajos.

Los gusanos pueden tener una sola línea de rosca, como en un tornillo típico, o de múltiples roscas, por lo general 2 ó 4 pero a veces 3, 5, 6, 8, o más. Es común referirse al número de hilos como N_w y luego para tratar ese número como si fuera el número de dientes en el gusano. El número de roscas en el gusano se refiere con frecuencia como el número de arranques; Esto es conveniente porque si nos fijamos en el extremo de un gusano, se puede contar el número de hilos que se inician en el extremo y el viento por el gusano cilíndrico.

La ventaja del tornillo sin fin es la distancia axial que un punto situado en el engrane se movería cuando el tornillo gire una revolución. La distancia se relaciona con el paso axial de

$$L = N_w P_x$$

El ángulo de avance es el ángulo entre la tangente a la rosca de tornillo sin fin y la línea perpendicular al eje del tornillo sin fin. Para visualizar el método de cálculo del ángulo de avance, que muestra un triángulo simple que se formaría si un hilo del tornillo sin fin se desarrolló desde el cilindro de paso y coloca plana sobre el papel. La longitud de la hipotenusa es la longitud de la rosca en sí. El lado vertical es el plomo, L . El lado horizontal es la circunferencia del cilindro de paso, $\pi \cdot D_w$, donde D_w es el diámetro de paso del gusano. Entonces

$$\tan \lambda = \frac{L}{\pi \cdot D_w}$$

Como antes, la velocidad de línea de paso es la velocidad lineal de un punto de la línea de paso del tornillo sin fin al engrane. Para el tornillo sin fin tiene un diámetro de paso D_w en, que gira a n_w rpm,

$$V_{tw} = \frac{\pi \cdot D_w \cdot n_w}{12} \text{ ft / min}$$

La velocidad de giro del engranaje tiene un diámetro de paso D_G en, que gira a n_G rpm,

$$V_{tG} = \frac{\pi \cdot D_G \cdot n_G}{12} \text{ ft / min}$$

Es necesario hacer la aclaración de que estos dos valores para la velocidad de la línea de paso no son iguales.

Es más conveniente para calcular la relación de velocidad de un tornillo sin fin y engrane, a partir de la relación de la velocidad de rotación de entrada a la velocidad de rotación de salida:

$$VR = \frac{\text{velocidad del tornillo sin fin}}{\text{velocidad del engrane}} = \frac{n_w}{n_G} = \frac{N_G}{N_w}$$

Autobloqueo es la condición en la que el tornillo sin fin impulsa el engranaje de tornillo sin fin, pero si se aplica un par al eje del engranaje, el gusano no se enciende. ¡Está bloqueado! La acción de bloqueo se produce por la fuerza de fricción entre las roscas de tornillo sin fin y los dientes de engranaje de tornillo sin fin, y esto depende del ángulo de avance altamente. Se recomienda que un ángulo de avance no superior a aproximadamente $5,0^\circ$ usarse con el fin de asegurar ocurrirá que la auto-bloqueo. Este ángulo de avance por lo general requiere el uso de un tornillo sin fin de un solo subproceso.

El diámetro del gusano afecta al ángulo de avance, que a su vez afecta a la eficacia del conjunto. Por esta razón, los diámetros pequeños son deseables. Sin embargo, por razones prácticas y proporción adecuada con respecto al engranaje de tornillo sin fin, se recomienda que el diámetro sea aproximadamente $\text{gusano } C^{0.875} / 2.2$, donde C es la distancia entre el centro del tornillo sin fin y el engranaje de tornillo sin fin. se permite la variación de alrededor de 30%. Por lo tanto, el diámetro gusano debe caer en el intervalo

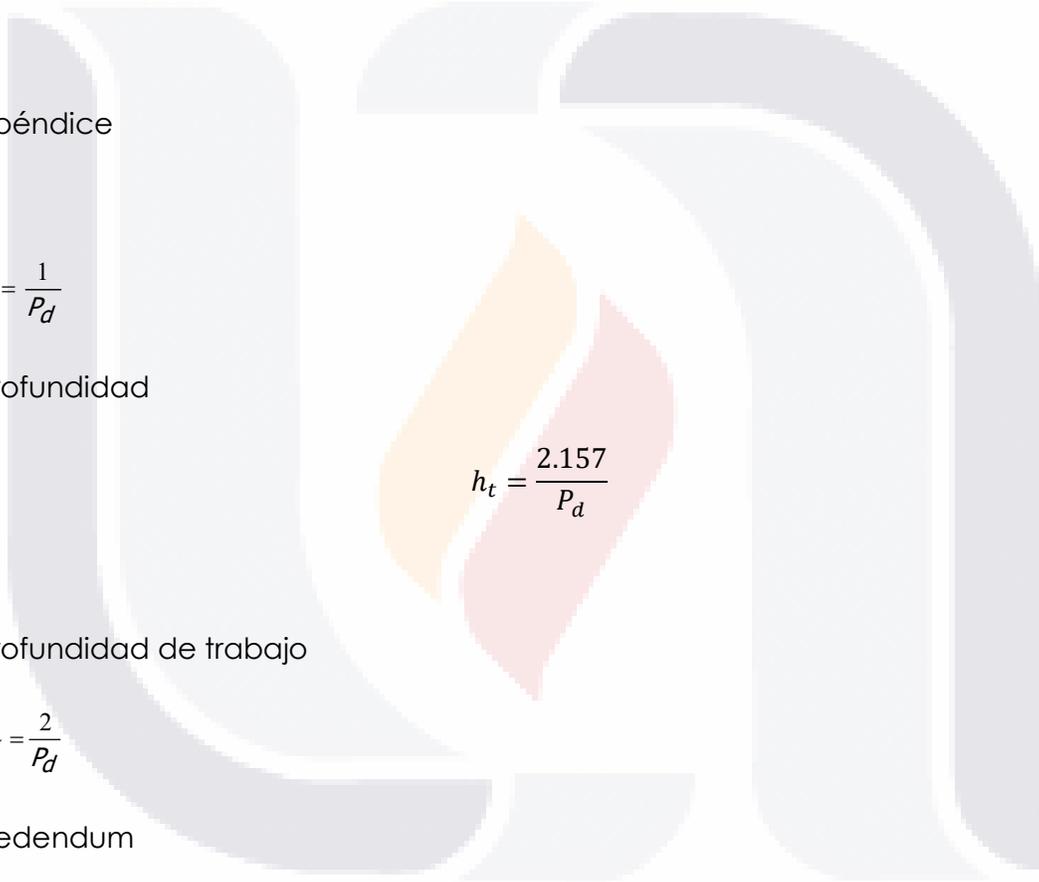
$$1.6 < \frac{C^{0.875}}{D_w} < 3.0$$

Sin embargo, algunos juegos de engranajes y disponibles en el mercado caen fuera de este rango, sobre todo en los tamaños más pequeños. La proporción adecuada y el uso eficiente del material debe ser la guía. En el eje de tornillo sinfín también debe comprobarse la deflexión bajo cargas operativas. Para gusanos que trabajan directamente con el eje, la raíz de los filetes del tornillo sinfín determina el diámetro mínimo del eje. Para gusanos que tiene agujeros perforados, a veces llamados gusanos de la cáscara, se debe tener cuidado de dejar suficiente material entre el fondo de hilo y el chavetero en el taladro.

Apéndice

$$a = \frac{1}{P_d}$$

profundidad



$$h_t = \frac{2.157}{P_d}$$

profundidad de trabajo

$$h_k = \frac{2}{P_d}$$

Dedendum

$$b = \frac{1.157}{P_d}$$

diámetro de la raíz de gusano

$$D_{rw} = D_w - 2b$$

diámetro exterior del tornillo sin fin

$$D_{ow} = D_w + 2a$$

diámetro de la raíz

$$D_{rG} = D_G - 2b$$

diámetro de la boca

$$D_t = D_G + 2a$$

El ancho de la cara recomendada para el engrane es

$$F_G = \left(D_{ow}^2 - D_w^2 \right)^{1/2},$$

Esto corresponde a la longitud de la línea tangente al círculo de paso del tornillo sin fin y limitada por el diámetro exterior del tornillo sin fin. Cualquier ancho de la cara más allá de este valor no sería eficaz en la resistencia a la tensión o desgaste, pero un valor conveniente ligeramente mayor que el mínimo debe ser utilizado.

Para compartir la carga máxima, la longitud de la cara gusano debe extenderse a al menos el punto donde el diámetro exterior del tornillo sin fin se cruza con el diámetro de la garganta del engrane. Esta longitud es

$$F_w = 2 \left[\left(\frac{D_t}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_G}{2} - a \right)^2 \right]^{1/2}$$

Sistema de tornillo sin fin

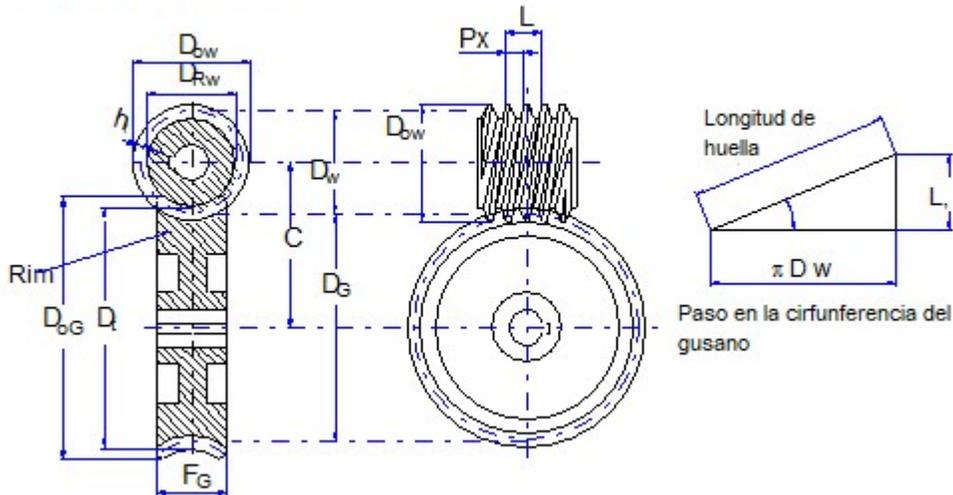


Ilustración 15. Sistema tornillo sin fin

En la mayoría de los problemas de diseño para las unidades de engranaje de tornillo sin fin, el par de salida y la velocidad de rotación del eje de salida se conocen a partir de los requisitos de la máquina de trabajo. Par y la velocidad están relacionados con la potencia de salida

$$T_o = \frac{63000 \cdot P_o}{n_G}$$

Fuerza tangencial en un engranaje

$$W_{tG} = \frac{2 \cdot T_o}{D_G}$$

Fuerza axial en un engranaje

$$W_{xG} = W_{tG} \frac{\cos \phi_n \sin \lambda + \mu \cdot \cos \lambda}{\cos \phi_n \cos \lambda - \mu \cdot \sin \lambda}$$

dónde:

μ = Coeficiente de fricción.

La fricción juega un papel importante en el funcionamiento de un conjunto wormgear porque no está resbalando inherentemente contacto entre las roscas de tornillo sinfín y los dientes de engranaje de tornillo sinfín. El coeficiente de fricción depende de los materiales utilizados, el lubricante, y la velocidad de deslizamiento. Sobre la base de la velocidad de la línea de paso del engrane, la velocidad de deslizamiento es

$$V_s = \frac{V_{tG}}{\sin \lambda}$$

Sobre la base de la velocidad de la línea de paso del tornillo sin fin,

$$V_s = \frac{V_{tw}}{\cos \lambda}$$

La AGMA recomienda las siguientes fórmulas para estimar el coeficiente de fricción para un gusano de acero endurecido (58 HRC como mínimo), sin problemas de tierra, o pulido, o enrollado, o con un acabado equivalente, que operan en un wormgear bronce. La elección de la fórmula depende de la velocidad de deslizamiento.

Condición estática, $V_s = 0$

$$\mu = 0,150$$

Baja velocidad, $V_s < 10 \text{ ft / min}$

$$\mu = 0.124e^{(-0.07V_s^{0.645})}$$

Velocidad más alta, $V_s > 10 \text{ ft / min}$

$$\mu = 0.103e^{(-0.11V_s^{0.45})} + 0.012$$

fuerza radial en un wormgear

$$W_{rG} = W_{tG} \frac{\sin \phi_n}{\cos \phi_n \cos \lambda - \mu \cdot \sin \lambda}$$

Fuerzas sobre un tornillo sin fin

Fuerza tangencial

$$W_{tw} = W_{xG}$$

Fuerza axial

$$W_{xw} = W_{tG}$$

Fuerza radial

$$W_{rw} = W_{rG}$$

La fuerza de fricción, W_f , actúa paralela a la cara de las roscas de tornillo sinfín y los dientes de engranaje y depende de la fuerza tangencial en el engranaje, el coeficiente de fricción, y la geometría de los dientes:

$$W_f = \frac{\mu \cdot W_{tG}}{(\cos \lambda)(\cos \phi_n)}$$

La AGMA, en su Norma 6034-A87, no incluye un método de análisis de corona y tornillo sinfín para la fuerza. Sólo los dientes wormgear se analizan porque los filetes del tornillo sinfín son inherentemente más fuerte y por lo general están hechos de un material más fuerte.

El desgaste en los dientes de los engranajes puede calcularse a partir

$$\sigma = \frac{W_d}{y \cdot F_G \cdot p_n}$$

dónde:

W_d = Carga dinámica sobre los dientes de engranaje

$$W_d = \frac{W_{tG}}{K_v}$$

$$K_v = \frac{1200}{1200 + V_{tG}}$$

y = Factor de forma de Lewis

Sólo un valor se da para el factor de forma Lewis para un ángulo de presión dada porque el valor real es muy difícil de calcular con precisión y no varía mucho con el número de dientes. El ancho de la cara real debe ser utilizada, hasta el límite de los dos tercios del diámetro primitivo del gusano.

Tabla 1. Factor de forma para ángulos de presión.

ϕ	y
14.5	0,100
20	0,125
25	0,150
30	0,175

p_n = Paso circular normal de

$$p = \frac{\pi \cdot \cos \lambda}{P_d}$$

El valor calculado de diente esfuerzo de flexión a partir de la ecuación mostrada anteriormente se puede comparar con la resistencia a la fatiga del material de la rueda dentada. Para bronce engranaje manganeso, utilizar una resistencia a la fatiga de 17 000 psi; por el bronce engranaje de fósforo, usar 24 000 psi. Para el hierro fundido, usar aproximadamente 0,35 veces la resistencia a la rotura, a menos que están disponibles para la resistencia a la fatiga de datos específicos.

Norma AGMA 6034-A87 proporciona un método para la calificación de la durabilidad de la superficie de los gusanos de acero endurecido que operan con engranajes de bronce. Las calificaciones se basan en la capacidad de los engranajes para operar sin un daño significativo a partir de picaduras o desgaste.

El procedimiento requiere el cálculo de una carga tangencial nominal, W_{tR} , de

$$W_{tR} = C_s \cdot D_G^{0.8} \cdot F_e \cdot C_m \cdot C_v$$

dónde:

C_s = Factor de materiales;

F_e = Ancho de la cara eficaz, en pulgadas. Utilice la anchura de la cara real del tornillo hasta un máximo de $0.67 \cdot D_w$;

C_m = Factor de corrección de relación;

C_v = Factor de velocidad.

Utilice la anchura de la cara real, F , del tornillo de engranaje como F_e . Si $F < 0.667 \cdot (D_w)$. Para anchos de cara mayor, el uso $F_e = 0.667 \cdot (D_w)$, Debido a que el exceso de ancho no es eficaz.

El factor de corrección de relación, C_m , Puede ser calculada a partir de las siguientes fórmulas.

Para Relaciones de transmisión, m_G , De 6 a 20

$$C_m = 0.020 \left(-m_G^2 + 40 \cdot m_G - 76 \right)^{0.5+0.46}$$

Para Relaciones de transmisión, m_G , Del 20 al 76

$$C_m = 0.0107 \left(-m_G^2 + 56 \cdot m_G + 5145 \right)^{0.5}$$

El factor de velocidad depende de la velocidad de deslizamiento, v_s . Los valores para C_v puede ser calculado a partir de las siguientes fórmulas.

por v_s de 0 a 700 pies / min

$$C_v = 0.659 \cdot e^{(-0.001 \cdot v_s)}$$

por v_s de 700 a 3000 pies / min

$$C_v = 13.31 \cdot e^{(-0.571)}$$

por $v_s > 3000$ pies / min

$$C_v = 65.52 \cdot e^{(-0.774)}$$

Cuando se analiza el sistema de tornillo engranaje dado, el valor de la carga tangencial nominal, W_{tR} , debe ser mayor que la carga tangencial real, W_{tG} para la vida satisfactoria. (Mott, 2006)

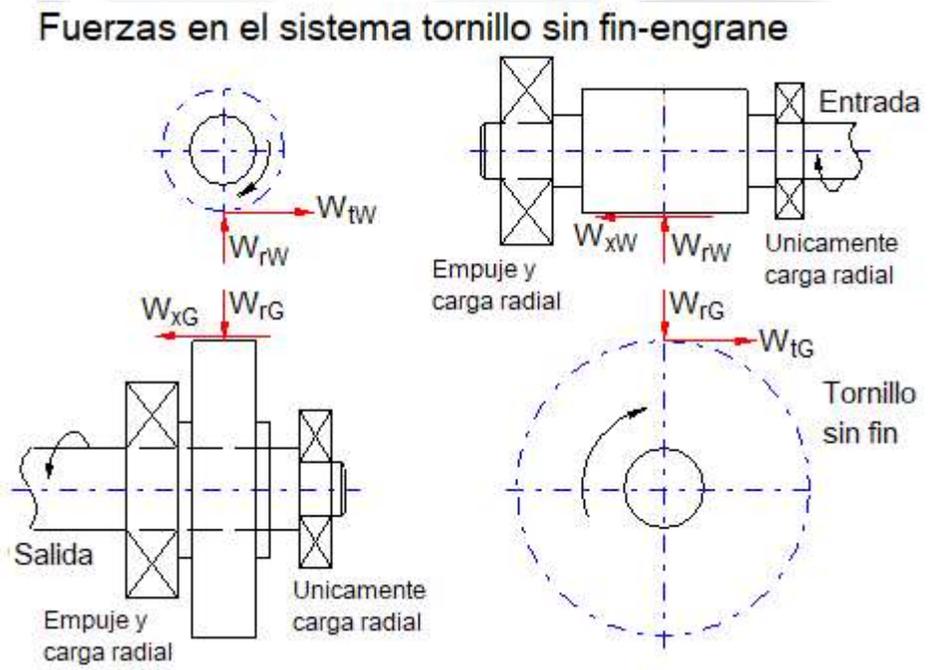


Ilustración 16, Fuerzas en el sistema tornillo sin fin - engranaje.

Ángulo de presión normal

Para el caso del tornillo sin fin se utilizan ángulos de presión de $14\frac{1}{2}^\circ$, 20° , 25° or 30° .

Los ángulos de baja presión se utilizan con tornillos que tiene un ángulo bajo de plomo y / o un paso diametral bajo. Por ejemplo, $14\frac{1}{2}^\circ$ ángulo de presión puede ser utilizado para el plomo. ángulos de hasta aproximadamente 17° . Para ángulos de avance más altas y con emplazamientos diametrales más altas (dientes más pequeños), de 20° a 25° de ángulo de presión se utiliza para

eliminar la interferencia sin subvaloración excesiva. Los 20° ángulo de presión es el valor preferido para el plomo ángulos de hasta 30° . De 30° a 45° de ángulo de avance, el 25° Se recomienda ángulo de presión. O bien el ángulo de presión normal, ϕ_t , O el ángulo de presión transversal, ϕ_n puede ser especificado. Estos están relacionados por

$$\tan \phi_n = \tan \phi_t \cdot \cos \lambda$$

Paso diametral

Un requisito básico del conjunto del tornillo sin fin es que el paso axial del tornillo sin fin debe ser igual al paso circular del engrane, por lo que paso axial, P_x , Se define como la distancia desde un punto de la rosca de tornillo sinfín hasta el punto correspondiente en el siguiente hilo adyacente, medida sobre el cilindro de paso. Como con otros engranajes, el paso circular se define para el conjunto mecanico como la distancia desde un punto en un diente en el círculo primitivo del engranaje hasta el punto correspondiente en el siguiente diente adyacente, se mide a lo largo del círculo de paso. Por lo tanto, el paso circular es una distancia de arco que se pueden calcular a partir de

$$p = \frac{\pi \cdot D_G}{N_G}$$

dónde:

D_G = Diámetro de contacto del engranaje

N_G = Número de dientes en el engranaje.

Algunos mecanismos de corona y tornillo sinfín se hacen de acuerdo a la convención de paso circular. Pero, como se señaló con engranajes de dientes rectos, juegos de engranajes y disponibles en el mercado se hacen generalmente a una convención de paso diametral con los siguientes emplazamientos fácilmente disponibles: 48, 32, 24, 16, 12, 10, 8, 6, 5, 4 y 3. el paso diametral se define como:

$$P_d = \frac{N_G}{D_G}$$

La conversión de paso diametral a paso circular se puede hacer de la siguiente ecuación:

$$P_d \cdot p = \pi$$

Potencia de salida

Para entender el método de cálculo de la tensión en el wormgearing, considere la potencia se transmite por medio del sistema de engranajes. La potencia se recibió de motor por el gusano que gira a la velocidad del motor. Por lo tanto, hay un par en el árbol puede ser calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Torque} = \text{potencia} / \text{velocidad de rotación} = \frac{P}{n}$$

El sistema transmite la potencia desde el acoplamiento hasta el punto en el gusano está en contacto con el engranaje. El gusano lleva a los dientes del engranaje de tornillo sinfín y por lo tanto transmite la potencia a la rueda dentada. Como con cualquier par de engranajes, la transmisión de energía en realidad implica la aplicación de un par de giro durante la rotación a una velocidad dada. El par es el producto de la fuerza que actúa axialmente para lanzar círculo del gusano. La fuerza axial en el gusano es igual a la fuerza tangencial en la marcha. Vamos a utilizar el símbolo W_t para indicar la fuerza tangencial. P

Para completar la descripción del flujo de potencia, la fuerza tangencial sobre los dientes wormgear produce un par en el wormgear igual al producto de W_{tG} veces el radio de paso del tornillo sinfín.

La pérdida de potencia es el producto de la fuerza de fricción W_f (depende de W_{tG} y el coeficiente de fricción) y la velocidad de deslizamiento V_s en la malla. Es decir,

$$P_L = \frac{V_S \cdot W_f}{33000}$$

La potencia de entrada es la suma de la potencia de salida y la pérdida de potencia debido a la fricción:

$$P_i = P_o + P_L$$

La eficiencia se define como la relación de la potencia de salida a la potencia de entrada:

$$\eta = \frac{P_o}{P_i}$$

Factor de sobrecarga, Ko

Consideran la probabilidad de que las variaciones de carga, vibraciones, golpes, cambios de velocidad, y otras condiciones específicas de la aplicación puede resultar en cargas mayores que w_i , aplicada a los dientes durante el funcionamiento. Un análisis cuidadoso de las condiciones reales se debe hacer, y la norma AGMA 2001-C95 da ningún valor específico para el factor de sobrecarga.

Las principales consideraciones son la naturaleza tanto de la fuente de potencia de accionamiento y la máquina accionada. Un factor de sobrecarga de 1,00 sería aplicado para un motor eléctrico perfectamente lisa que conduce un generador perfectamente liso a través de un reductor de velocidad del tipo de engranaje. Cualesquiera condiciones extremas exigen un valor de factor de sobrecarga Ko mayor de 1.00. Para las fuentes de energía utilizaremos la siguiente:

Uniforme: motor eléctrico o de velocidad constant, turbina de gas

Luz de choque: Turbina de agua, control de velocidad variable

descarga moderada: motor multicilindro

Ejemplos de la rugosidad de máquinas accionadas incluyen los siguientes:

Uniforme: Generador de servicio continuo

Luz de choque: Los ventiladores y bombas centrífugas de baja velocidad, agitadores de líquido, generadores de impuestos variables, de manera uniforme transportadores cargados, bombas volumétricas rotativas

descarga moderada: bombas centrífugas de alta velocidad, bombas y compresores de pistón, transportadores de carga pesada, unidades de máquinas-herramienta, hormigoneras, maquinaria textil, picadoras de carne, sierras

golpes fuertes: trituradoras de roca, las unidades de prensa de punzonado, pulverizadores, molinos de procesamiento, barriles caer, astilladoras de madera, cribas vibratorias, volquetes de vagones de ferrocarril.

3.2.2 Sistema de engranajes para transmición de potencia.

El sistema de engranaje mecánico funciona mediante dientes que son rectos y dispuestos paralelos al eje del árbol que lleva el engranaje. La forma curvada de las caras de los dientes de engranaje recto tiene una geometría especial llamado una curva evolvente. Esta forma hace posible que los dos engranajes para operar junto con una transmisión suave y positiva de potencia. Los ejes que llevan engranajes son paralelas. (Mott, 2006)

Diseño de sistema de engranajes

la velocidad de salida real (engranaje)

$$n_G = \frac{n_p}{VR}$$

n_p = Velocidad de rotación del piñón

VR = relación de transmisión

$$VR = \frac{N_G}{N_P}$$

N_G, N_P = Número de engranajes, los dientes del piñón.

Se calcula el número aproximado de dientes de los engranajes para producir la velocidad deseada desde $N_G = N_P \frac{n_{Gd}}{n_p}$ (n_{Gd} = Velocidad de salida deseada). Pero, por supuesto, el número de dientes en cualquier marcha debe ser un entero, y el valor real de N_G se selecciona por el diseñador.

Geometría de engranaje para la profundidad completa dientes de evolvente en el sistema de paso diametral

Diámetro de paso

$$D = \frac{N}{P_d}$$

Paso diametral

$$P_d = \frac{N}{D}$$

Diámetro exterior

$$D_o = \frac{N + 2}{P_d}$$

Apéndice

$$a = \frac{1}{P_d}$$

dedendum

Si $P_d < 20$

Características del par de engranes

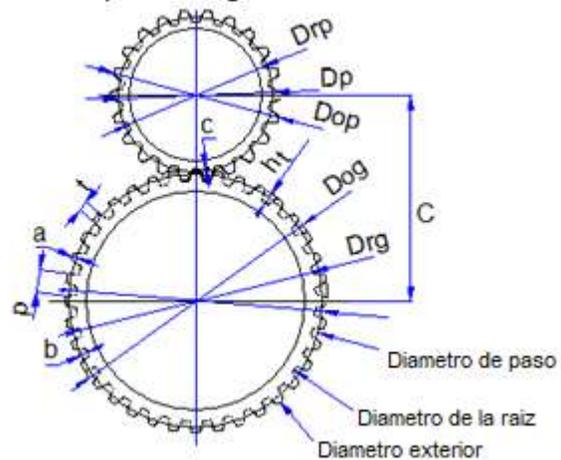


Ilustración 17. Características del par de engranes.

$$b = \frac{1.25}{P_d}$$

Si $P_d \geq 20$

$$b = \frac{1.2}{P_d} + 0.002$$

Despeje

Si $P_d < 20$

$$c = \frac{0.25}{P_d}$$

Si $P_d \geq 20$

$$c = \frac{0.2}{P_d} + 0.002$$

Diámetro de la raíz

$$D_R = D - 2b$$

diámetro del círculo Base

$$D_b = D \cos \phi$$

paso circular

$$p = \frac{\pi D}{N}$$

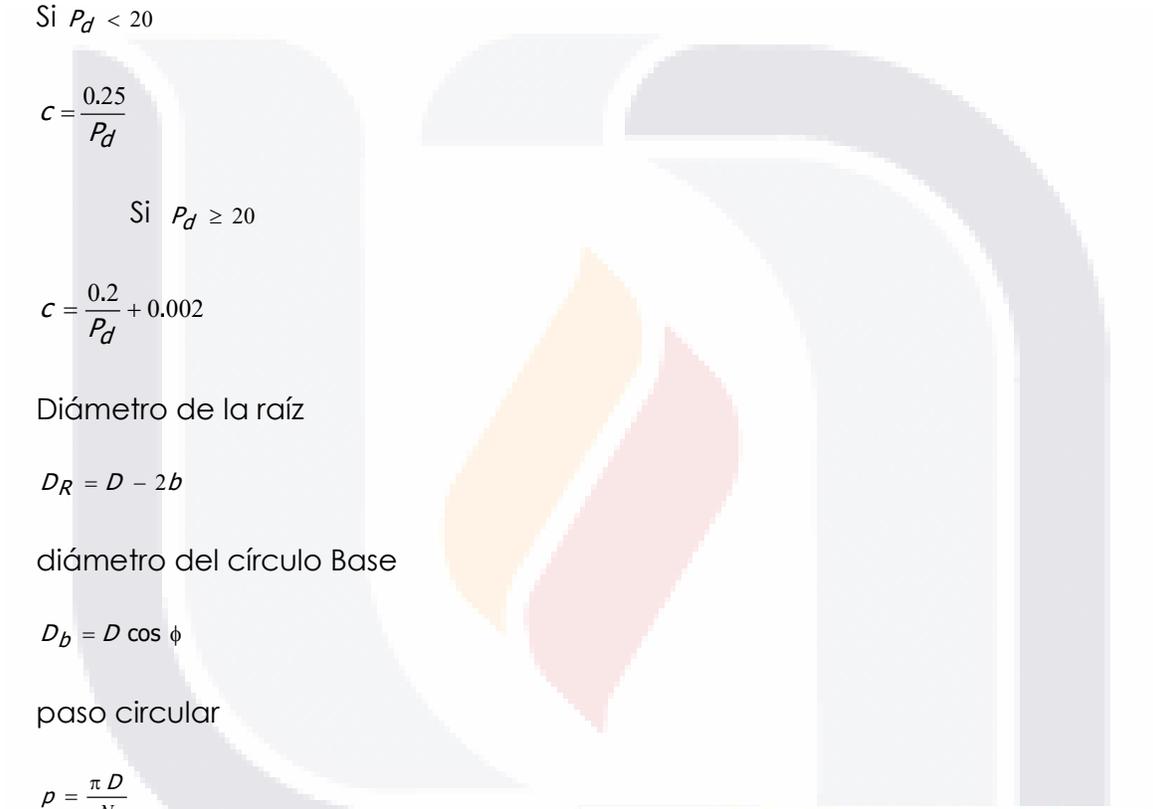
Altura del diente

$$h_t = a + b$$

profundidad de trabajo

$$h_k = 2a$$

espesor del diente



Espesor del borde y profundidad del orificio del diente

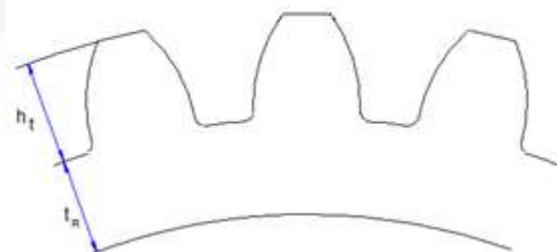


Ilustración 18. Espesor del borde y profundidad del diente.

$$t = \frac{\pi}{2Pd}$$

Distancia central

$$C = \frac{D_G + D_P}{2}$$

Doblado factor de geometría, J , es dependiente del número de dientes del engranaje para las que se desea factor de geometría y sobre el número de dientes en el engranaje de acoplamiento. Los valores pueden ser encontrados a partir de AGMA 908-B89 (R1995).

Picaduras factor geométrico, I , depende de la geometría de los dientes y en la relación de transmisión. Los valores pueden ser encontrados a partir norma AGMA 218.01.

Factores de fuerza y velocidad

velocidad de la línea de paso

$$V_t = \frac{\pi D_P n_P}{12}$$

fuerza tangencial

$$W_t = \frac{33000 \cdot (P)}{V_t}$$

o

$$W_t = \frac{126000 \cdot (P)}{nD}$$

dónde:

PAG = Potencia transmitida

fuerza radial

$$W_r = W_t \tan \phi$$

Fuerza normal

$$W_n = \frac{W_t}{\cos \phi}$$

esfuerzo de flexión esperada

$$S_t = \frac{W_t P_d}{F \cdot J} K_o K_s K_m K_B K_v$$

dónde:

J = flexión factor de geometría

K_o = Factor de sobrecarga

K_s = Factor de tamaño

K_m = Factor de carga-distribución

K_B = Factor de espesor llanta

K_v = Factor dinámico.

Fuerzas aplicadas en el diente del engrane

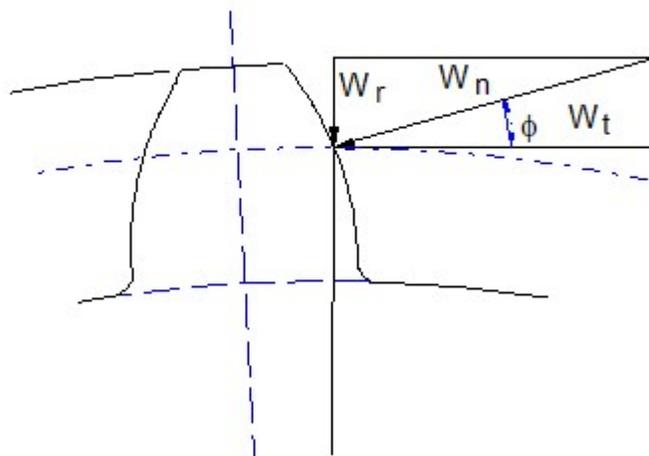


Ilustración 19. Fuerzas aplicadas en el diente del engrane.

La AGMA indica que el factor de tamaño se pueden tomar para ser 1,00 para la mayoría de engranajes. Pero para engranajes con dientes de gran tamaño o grandes anchos de vista, un valor superior a 1,00 recomendada. El programa calcula el factor de tamaño de forma automática.

La determinación del factor de carga-distribución se basa en muchas variables en el diseño de los propios engranajes, así como en los ejes, cojinetes, carcasas, y la estructura en la que está instalada la unidad de engranajes. Por lo tanto, es uno de los factores más difíciles de especificar. el trabajo analítico y experimental tanto continúa en la determinación de los valores de K_m . Vamos a utilizar la siguiente ecuación para calcular el valor del factor de distribución de carga:

$$K_m = 1.0 + C_{pf} + C_{ma}$$

dónde:

C_{pf} = Factor de piñón proporción depende de la anchura de la cara y diámetro de paso

C_{ma} = Malla factor de alineación.

El factor dinámico, K_v , Explica el hecho de que la carga es asumida por un diente con un cierto grado de impacto y que la carga real se somete al diente es más alta que la carga transmitida solo. El valor de K_v depende de la precisión de perfil de diente, las propiedades elásticas de los dientes, y la velocidad con la que los dientes entran en contacto. Norma AGMA 2001-C95 da valores recomendados para K_v basado en el número de calidad AGMA, q_v , Y la velocidad de línea de paso. Engranajes en diseño típico máquina tendrían las calificaciones de calidad AGMA de 5 a 7, que son para engranajes realizados por fresado o dar forma con la media de buena utillaje. Si los dientes son acabado suelo o afeitado para mejorar la precisión del perfil de los dientes y el espacio, los números de calidad en el 8 - 11 rango deben ser utilizados. En condiciones muy especiales donde se utilizan los dientes de alta precisión en aplicaciones donde hay poca probabilidad de desarrollar cargas dinámicas

externas, los números más altos de calidad se pueden utilizar. Si los dientes se cortan por la forma de la molienda, los factores más baja que las que se encuentran a partir de $Q_v = 5$ debe ser utilizado. Tenga en cuenta que la calidad de 5 marchas no deben utilizarse a velocidad de línea de paso por encima de 2.500 pies / min. Tenga en cuenta que los factores dinámicos son aproximados.

Tensión de contacto esperada

$$S_c = C_p \sqrt{\frac{W_t K_o K_s K_m K_v}{F D_p I}}$$

dónde:

C_p = Coeficiente de elasticidad que depende del material de tanto el piñón y el engranaje. $C_p = 2300$ por dos engranajes de acero. El programa selecciona automáticamente el valor apropiado después de que el usuario especifica los materiales.

Procedimiento para la selección de materiales para la tensión de flexión

$$\frac{K_R(SF)}{Y_N} S_t < S_{at}$$

dónde:

K_R = Factor de fiabilidad

SF = Factor de seguridad

Y_N = Factor de ciclo de la tensión para la flexión.

Norma AGMA 2001-C95 permite la determinación del factor de ajuste de la vida, Y_N Si se analizan los dientes del engranaje se espera que experimente un cierto número de ciclos de carga muy diferente de 10^7 . Tenga en cuenta que el tipo general de material es un factor para el menor número de ciclos. Para el

más alto número de ciclos, un intervalo se indica mediante un área sombreada.

Número esperado de ciclos de carga

$$N_c = (60)(L)(n)(q)$$

dónde:

L = Vida útil en horas

n = Velocidad de rotación en rpm

q = Número de aplicaciones de carga por revolución.

Procedimiento para la selección de materiales para la tensión de contacto

$$\frac{K_R(SF)}{Z_N} S_c < S_{ac}$$

dónde:

Z_N = Picaduras factor de ciclo de la resistencia al estrés.

Norma AGMA 2001-C95 especifica la determinación del factor de ciclo de estrés, Z_N . Si se espera que los dientes del engranaje que se analiza a experimentar una serie de ciclos de carga muy diferente de 10^7 , Un factor debe ser utilizado. El usuario especifica la vida deseado para el sistema en horas y el programa calcula los valores para Y_N y Z_N .

Después de calcular los valores para el número de fuerza de tensión admisible, S_{at} Y por número de esfuerzo de contacto admisible, S_{ac} , Hay que ir a los datos en la norma AGMA 2001-C95, para seleccionar un material adecuado. Consideremos en primer lugar el acero si el material debe ser, hierro fundido, bronce o plástico. A continuación, consulte las tablas de datos relacionados.

Ángulo de presion

El ángulo de presión es el ángulo entre la tangente a los círculos de paso y la línea trazada normal (perpendicular) a la superficie del diente de engranaje

La línea normal a los dientes de engranaje se refiere a veces como la línea de acción. Cuando dos dientes de engranaje están en malla y están de transmisión de potencia, la fuerza transferida desde el controlador al diente engranaje accionado actúa en una dirección a lo largo de la línea de acción. Además, la forma real del diente del engranaje depende del ángulo de presión.

Los valores estándar del ángulo de presión son establecidos por los fabricantes de engranajes, y el ángulo de presión de dos engranajes en malla deben ser los mismos. Ángulos de presión estándar actuales son, aunque el $14\frac{1}{2}^\circ$ la forma del diente se considera que es obsoleta. A pesar de que todavía está disponible, se debe evitar para nuevos diseños. La forma del diente 20 grados es el más fácilmente disponible en este momento. Las ventajas y desventajas de los diferentes valores de ángulo de presión se refieren a la fuerza de los dientes, la ocurrencia de interferencia, y la magnitud de las fuerzas ejercidas sobre el eje.

Ángulo de presión

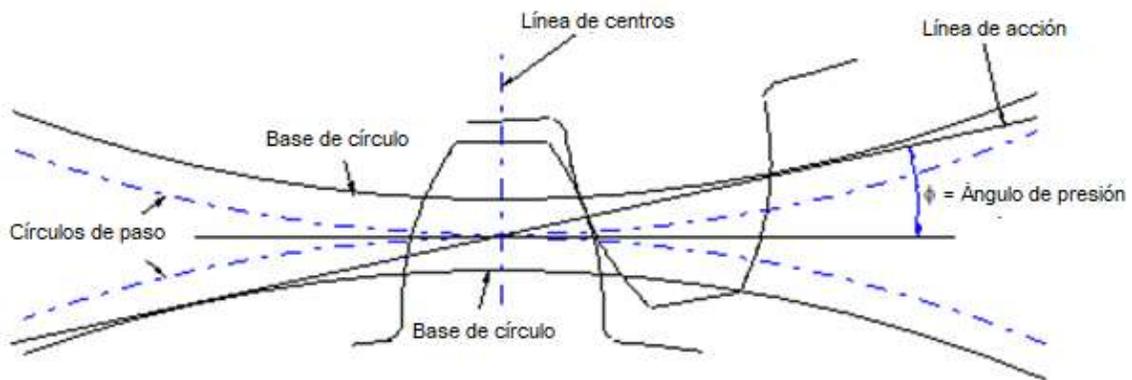


Ilustración 20. Ángulo de presión.

Paso diametral

El sistema de paso más común usado hoy en día es el sistema de paso diametral, el número de dientes por pulgada de diámetro de paso. Su definición básica es

$$P_d = \frac{N_G}{D_G} = \frac{N_p}{D_p}$$

N_p, N_G = Número de dientes del piñón y el engranaje;

D_p, D_G = Diámetro primitivo del piñón y el engranaje.

Como tal, tiene unidades de dientes / in. Una de las ventajas del sistema de paso diametral es que hay una lista conjunta de campos estándar, y la mayoría de los campos tienen valores enteros. Para estos campos estándar, los de 20 y más son llamados de paso fino, y aquellos por debajo de 20 son llamados paso grueso.

La tabla de base de datos en la página de entrada de listas de emplazamientos diametrales estándar e inserta automáticamente el valor seleccionado. Otros valores intermedios están disponibles, pero la mayoría de los fabricantes producen los engranajes de esta lista de lanzamientos. En cualquier caso, es recomendable comprobar la disponibilidad antes de que finalmente la especificación de un terreno de juego.

El paso de los dientes de engranaje determina su tamaño, y dos engranajes complementarios debe tener el mismo paso. Tenga en cuenta que a medida que el valor numérico de los aumentos de paso diametral, el tamaño físico del diente disminuye, y viceversa.

Ancho de la cara

El ancho de la cara se puede especificar una vez se elige el paso diametral. Aunque una amplia gama de anchos de vista es posible, los límites siguientes se utilizan para engranajes de accionamiento mecánico general:

$$\frac{8}{P_d} < F < \frac{16}{P_d}$$

valor nominal de $F = \frac{12}{P_d}$

Además, el ancho de la cara normalmente no es mayor que el diámetro de paso del piñón. Un límite superior se coloca sobre el ancho de la cara para minimizar problemas con la alineación. Un ancho de la cara muy amplia aumenta la probabilidad de menos de plena carga cara de los dientes. Cuando el ancho de la cara es menor que el límite inferior, es probable que un diseño más compacto puede lograrse con paso diferente.

Darse cuenta de $\frac{F}{D_p} < 2.00$ es recomendado.

Potencia transmitida

Para entender el método de las tensiones en los dientes del engranaje de computación, tenga en cuenta el poder de forma es transmitida por un sistema de engranajes. Por ejemplo, en un solo-reducción se recibe energía por de engranajes desde el motor por el eje de entrada gira a la velocidad del motor. Por lo tanto, hay un par en el árbol que se pueden calcular a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Torque} = \text{potencia} / \text{velocidad de rotación} = \frac{P}{n}$$

El eje de entrada transmite la potencia desde el acoplamiento al punto donde está montado el piñón. La potencia se transmite desde el eje al piñón a través de la tecla. Los dientes del piñón de accionamiento de los dientes del

engranaje y así transmiten la potencia a la rueda dentada. Pero de nuevo, la transmisión de energía en realidad implica la aplicación de un par de giro durante la rotación a una velocidad dada. El par es el producto de la fuerza tangencial que actúa para lanzar círculo de los tiempos de piñón el radio de paso del piñón. Vamos a utilizar el símbolo W_t para indicar la fuerza tangencial. Como se describe, W_t es la fuerza ejercida por los dientes del piñón en los dientes de los engranajes. Pero si los engranajes están girando a velocidad constante y están transmitiendo un nivel uniforme de energía, el sistema está en equilibrio. Por lo tanto, debe haber una fuerza tangencial igual y opuesta ejercida por los dientes de engranaje de nuevo en los dientes del piñón. Esta es una aplicación del principio de acción y reacción.

Para completar la descripción del flujo de potencia, la fuerza tangencial sobre los dientes de engranaje produce un par en el engranaje igual al producto de W_t veces el radio primitivo del engranaje. Porque W_t es el mismo en el piñón y el engranaje, pero el radio de paso de engranaje es mayor que el del piñón, el par en el engranaje (el par de salida) es mayor que el par de entrada. Sin embargo, tenga en cuenta que la potencia transmitida es igual o ligeramente inferior debido a las ineficiencias mecánicas. La potencia fluye entonces desde el engranaje a través de la llave para el eje de salida y finalmente a la máquina de trabajo.

A partir de esta descripción del flujo de potencia, se puede observar que los engranajes transmiten potencia al ejercer una fuerza de conducción por los dientes en los dientes impulsados mientras que la fuerza de reacción actúa de nuevo en los dientes de la rueda dentada de accionamiento. W_t No es la fuerza total sobre el diente. Debido a la forma de evolvente del diente, la fuerza total transferido de un diente al diente de acoplamiento actúa normal al perfil de evolvente y nos referimos a que la fuerza total que W_n . Por lo que la fuerza tangencial es un componente de la fuerza total. Tenga en cuenta que

hay un componente adicional, W_r , De la fuerza total que actúa radialmente o hacia el centro de la rueda dentada. Para una comprensión clara ver el gráfico de ayuda, "Fuerzas en los dientes de los engranajes rectos."

Número de dientes del piñón

En la selección del número de dientes en el piñón, el diseñador debe estar al tanto de posibles interferencias. Para ciertas combinaciones de números de dientes en un par de engranajes, no hay interferencia entre la punta de los dientes sobre el piñón y el filete o de la raíz de los dientes en el engranaje. Obviamente, esto no se puede tolerar porque los engranajes simplemente no malla. La probabilidad de que se produzca interferencia es mayor cuando un pequeño piñón acciona un engranaje grande, con el peor caso de ser un pequeño piñón de ataque de un bastidor. Un rack es un engranaje con una línea de paso recto; que puede ser pensado como un engranaje con un diámetro de paso infinito.

Es responsabilidad del diseñador para asegurar que no se produzcan interferencias en una aplicación dada. La manera más segura de hacer esto es para controlar el número mínimo de dientes en el piñón.

Si un diseñador quiere estar seguro de que no habrá interferencia entre cualquier par de engranajes cuando se utiliza el $14\frac{1}{2}^\circ$, A profundidad completa, el sistema de evolvente, el piñón del par de engranajes no deben tener menos de 32 dientes.

para el 20° , A profundidad completa, el sistema de evolvente, con no menos de 18 dientes se asegurará de que no se produzca interferencia.

para el 25°, A profundidad completa, el sistema de evolvente, con no menos de 12 dientes se asegurará de que no se produzca interferencia.

Características de dientes en engranes

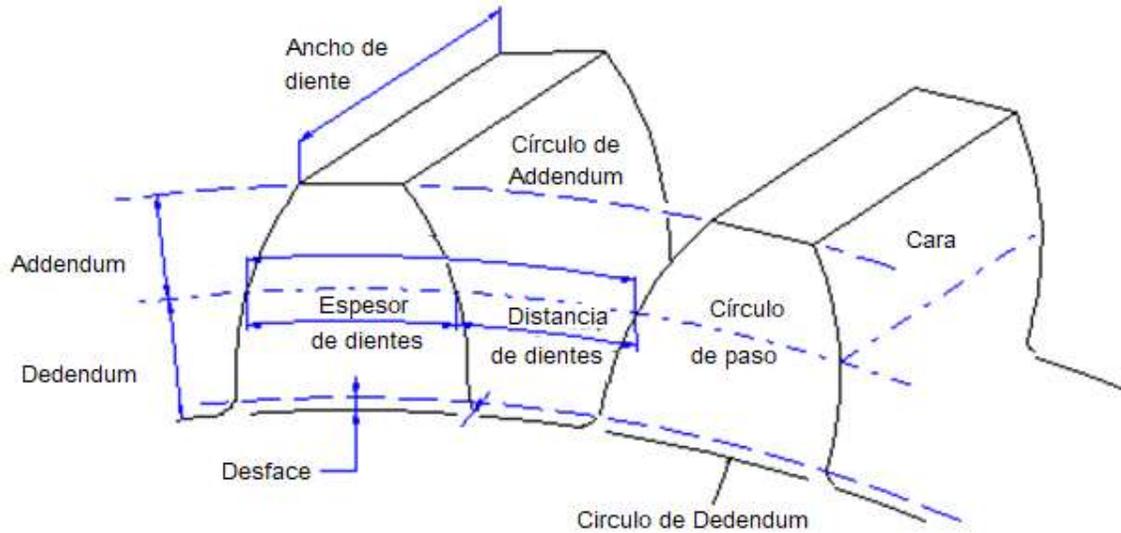


Ilustración 21. Características de dientes de engranes.

Vida de diseño

Vida de diseño es, de hecho, una decisión de diseño basado en la aplicación. A título orientativo, se ha creado este conjunto de datos para su uso en el diseño de rodamiento y se utiliza aquí para engranajes:

Tabla 2. Vida de diseño.

<u>Solicitud</u>	<u>Vida de diseño L (h)</u>
Usos domésticos	1000-2000
Motores de avión	1-4000
Automotor	1500-5000
Equipamiento agrícola	3000 a 6000
Ascensores, ventiladores industriales, engranajes de usos múltiples	de 8000 a 15.000
motores eléctricos, ventiladores industriales, máquinas industriales en general	de 20.000 a 30.000
Bombas y compresores	de 40.000 a 60.000

equipos críticos en continua operación de 24 h	de 100.000 a 200.000
--	----------------------

Número de aplicaciones de carga por revolución, q

El número normal de aplicaciones de carga por revolución para cualquier diente dado es típicamente, por supuesto, uno. Pero consideremos el caso de un engranaje intermedio que sirve como un engranaje accionado y la conducción en un tren de engranajes. Se recibe dos ciclos de carga por revolución: una, ya que recibe energía de y uno, ya que ofrece energía a sus engranajes de acoplamiento. Además, en ciertos tipos de trenes de engranajes, un engranaje puede suministrar energía a dos o más engranajes que se acoplan con ella. Engranajes en un tren de engranajes planetarios a menudo tienen esta característica.

Grosor del borde

El factor de espesor de la llanta, K_B , Da cuenta de una llanta que puede ser demasiado delgada. El análisis básico utilizado para desarrollar la ecuación de Lewis supone que el diente de engranaje se comporta como un voladizo unido a una estructura de soporte perfectamente rígido en su base. Si la llanta de la rueda es demasiado delgada, se puede deformar y hacer que el punto de máxima tensión de pasar de la zona del filete de engranajes de dientes a un punto dentro de la llanta.

El parámetro clave geometría se denomina la relación de copia de seguridad, m_B , dónde

$$m_B = \frac{t_R}{h_t}$$

t_R = Espesor de la llanta;

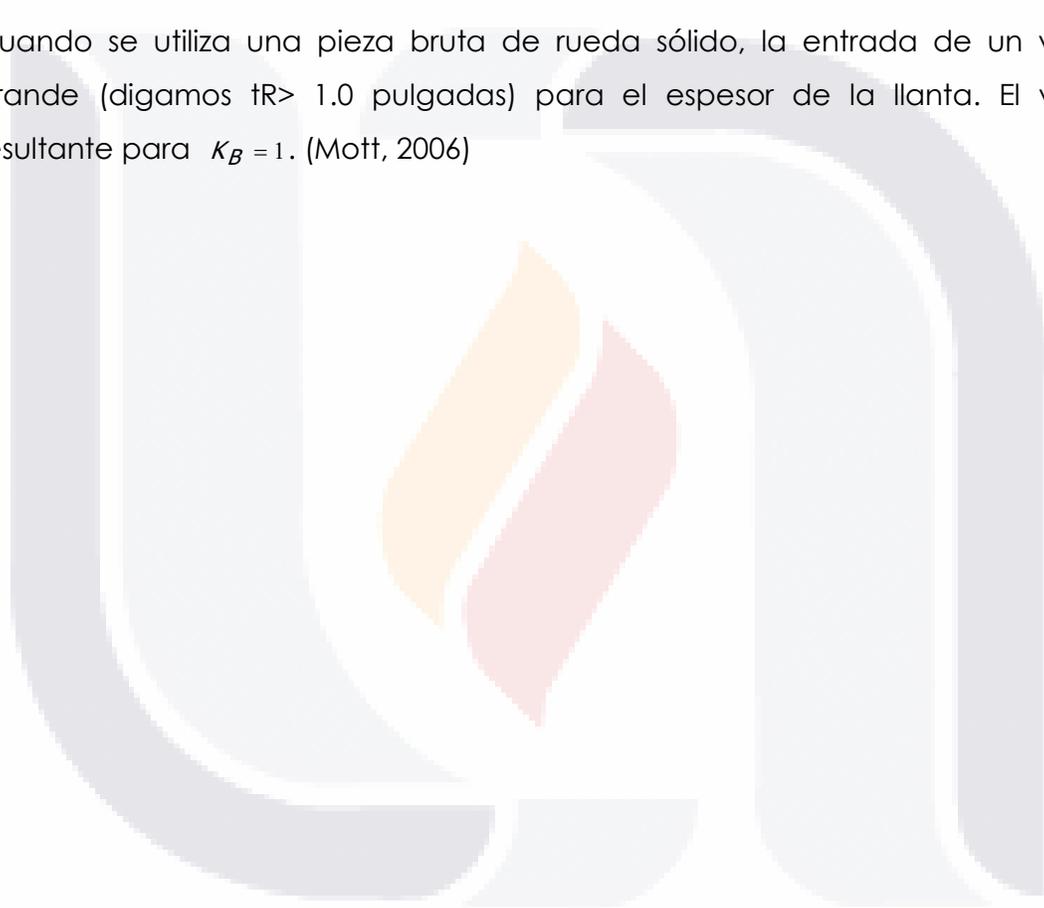
h_t = Profundidad entera del diente del engranaje.

por $m_B > 1.2$, el reborde es lo suficientemente fuerte y rígido para soportar el diente, y $K_B = 1.0$.

por $m_B < 1.2$, el factor de espesor llanta determinada:

$$K_B = 1.6 \ln \left(\frac{2.242}{m_B} \right)$$

Cuando se utiliza una pieza bruta de rueda sólido, la entrada de un valor grande (digamos $t_R > 1.0$ pulgadas) para el espesor de la llanta. El valor resultante para $K_B = 1$. (Mott, 2006)





CAPÍTULO

IV

SELECCIÓN DE CASO DE ESTUDIO

CAPITULO IV: SELECCIÓN DE CASO DE ESTUDIO

Los daños a construcciones a causa del fenómeno de subsidencia nos trasladan a la necesidad de obtener métodos para lograr que dicha infraestructura pueda convivir con el fenómeno presentado, es ahí donde surge la necesidad de diseñar y probar un sistema que pueda convivir con este tipo de problemas en el subsuelo.

Por alcances del proyecto se toma la decisión de enfocarse en el acoplamiento a los hundimientos diferenciales ocasionados por el fenómeno de subsidencia, teniendo en cuenta que como parte de las consecuencias de las afectaciones que sufre el subsuelo también se pueden presentar grietas o fisuras, las cuales se buscarían erradicar o tratar accionando columnas que se encuentren desplantadas sobre un suelo sin importantes discontinuidades.

4.1 Elección de proyecto

Se elige un proyecto de menor tamaño con el fin de reducir complejidades en el sistema, y así facilitar tanto el diseño como el

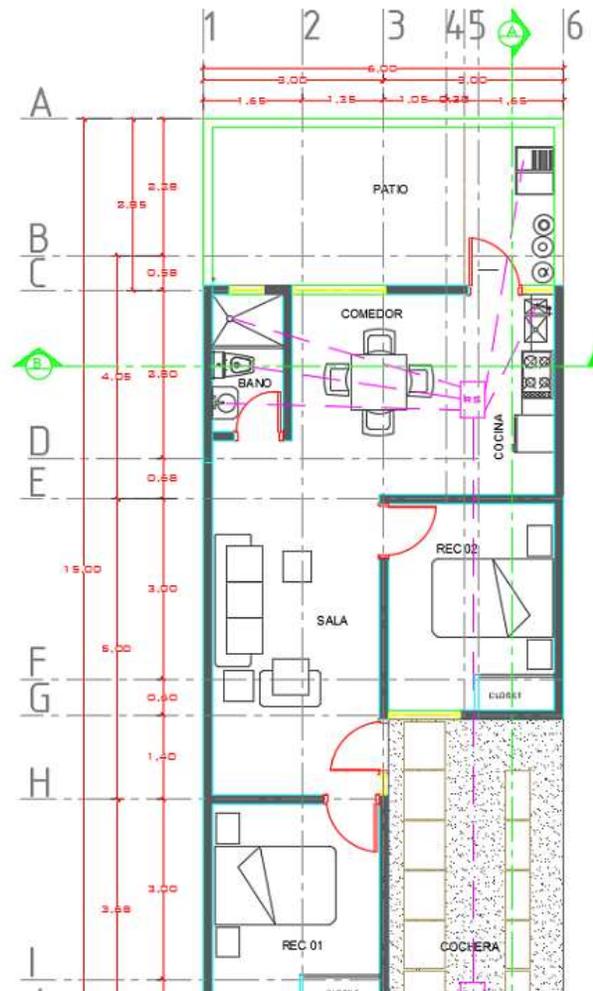


Ilustración 22. Selección de caso de estudio.

análisis de este. Como resultado de lo anterior se toma el proyecto de una casa de interés social, tomando como base un proyecto edificado en el estado de Aguascalientes, con el fin de trabajar con algo que ya se tiene y sobre lo cual se pueden llegar a tener las complicaciones mencionadas.

Se eligió un proyecto de casa habitación ubicado en la población de nombre "Gral. Jose María Morelos y Pavón", conocida como "Cañada Honda", ubicada al noroeste de la capital del estado de Aguascalientes. El proyecto arquitectónico inicial fue llevado a cabo por el Arq. Luis Fernando Moral, como casa muestra construida en serie del fraccionamiento de interés social de nombre "Cipres". Cabe mencionar que se le hicieron algunas modificaciones en fachadas con el fin de simplificar el proceso de diseño estructural.

Además del diseño y la complejidad del proyecto seleccionado, este fue elegido debido a que se presenta en una zona del estado que podría ser propensa a la aparición de dicho fenómeno, pues como se puede leer en una publicación de Pacheco Martínez (Pacheco-Martinez, Hernandez-Marin, Burbey, Ortíz-Lozano, & Zermeño-de-Leon, 2013) las zonas más afectadas del estado se encuentran en las orillas de la mancha urbana, teniendo relación el hecho de que la extracción de agua del subsuelo en esos sitios se realiza con una intensidad mayor con el fin de dar abasto a la agricultura de esas zonas poco urbanizadas.

CAPÍTULO

V

DISEÑO, ANÁLISIS Y EVOLUCIÓN DEL PROTOTIPO

CAPITULO V: DISEÑO, ANÁLISIS Y EVOLUCIÓN DE PROTOTIPO.

Este capítulo se analizará la edificación propuesta en el capítulo anterior con el fin obtener una carga de diseño, misma que será utilizada para el diseño de un prototipo de movimiento vertical que nos permita adaptar las edificaciones a hundimientos diferenciales suscitados en el nivel de desplante de la cimentación. Así mismo, se analizará el correcto funcionamiento del prototipo. Posteriormente se aplicarán las mejoras correspondientes.

En la bibliografía consultada anteriormente se observa que se pueden seguir diversos caminos que nos permiten múltiples soluciones para realizar una nivelación de estructuras que sufren cambios o accidentes en el subsuelo, prueba de ello es lo escrito en el capítulo 2; de estado del arte, mismas que son aplicadas para el diseño del prototipo en cuestión.

5.1 Diseño y análisis de estructura soporte.

Es necesario poner en práctica la capacidad de diseño del autor, pues como es bien conocido, al diseñar ya sea un mecanismo o una estructura es difícil obtener una respuesta consisa sobre cuál es el mejor diseño, por lo que se opta por trabajar un modelo que pretenda reducir costos en cuanto a materiales como al proceso de fabricación, así como realizar un diseño que permita el menor gasto de energía con el fin de hacerlo más eficiente y disminuir el gasto de operación.

La necesidad de enfrentar la problemática de hundimientos diferenciales descarta totalmente la elección de un sistema estructural de mampostería ya que no ofrece un buen comportamiento ante movimientos milimétricos del subsuelo.

Tomando en cuenta el comentario

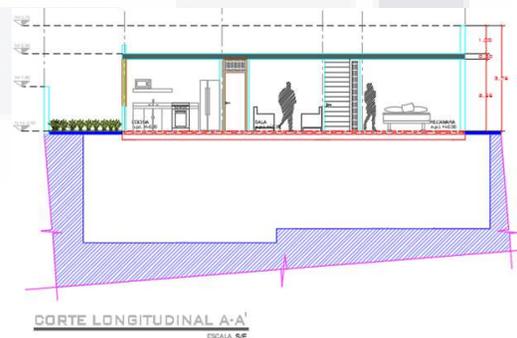


Ilustración 23. Sotano donde se pretende colocar el sistema de cimentación con el prototipo a desarrollar.

anterior se elige una estructura metálica para toda la conformación de la casa habitación, así mismo se plantea que el proyecto tenga el sistema de cimentación expuesto, con el fin de poderlo manipular. Dicho de otra forma, no se contemplan trabajos relativos al relleno y compactación del terreno.

Al tomar la decisión de colocar un sótano para cimentación, se propone un sistema de estructura metálica, teniendo como losa de planta baja una losa de lámina galvanizada en la cual se cuela el concreto premezclado (losacero), misma que nos permite desplantar sobre la misma, los diferentes muros divisorios y todo lo que desarrolla en el nivel de planta baja en una vivienda.

Es importante aclarar la función estructural de la casa habitación será absorbida por el mecanismo estructural observado en la figura, por lo que los muros simplemente tendrán un valor arquitectónico, simplemente para la división de los espacios de la vivienda seleccionada.

Los primeros cálculos que se han realizado en el proyecto han sido el comprobar que la estructura seleccionada podría con las cargas que se usan para realizar el diseño estructural por lo que se realizó el proceso de bajada de cargas, el cual consiste en identificar el peso de todos los materiales que se utilizarán en la construcción (identificados como cargas muertas), además agregar la carga correspondiente a la actividad de seres vivos (identificada como carga viva) y asignarlos a el tramo de estructura que recibirá ese tipo de cargas. Dichas cargas fueron abundadas con los factores de carga mencionadas en el reglamento de construcción del distrito federal.

A continuación, se procede a enumerar las cargas consideradas en el análisis de la estructura metálica propuesta.

- Cargas consideradas en la losa de azotea:

Viguetas y capa de compresión: 210 kg/m².

Yeso: 35 kg/m².

Mortero: 30 kg/m²

Enladrillado 35 kg/m²
 Carga viva 100 kg/m².

- Cargas consideradas en la losa de entrepiso:

Loseta cerámica: 30 kg/m²
 Sistema losacero: 300 kg/m²
 Muro de block: 565 kg/ml
 Carga viva: 200 kg/m²

En la figura se puede observar dicho proceso mencionado y los resultados obtenidos gracias al software de "solidworks", se observa el análisis estructural de los desplazamientos resultantes a causa de las cargas seleccionadas. Se identifica en base a los colores seleccionados, un desplazamiento mayor de 1.3cm, lo cual se autoriza pues esta combinación de carga solo se da en caso de que se presenten los máximos de carga solicitados. Así mismo, se le colocaron restricciones de movimiento en los lugares donde se pretende colocar las columnas con el mecanismo de adaptación a hundimientos.

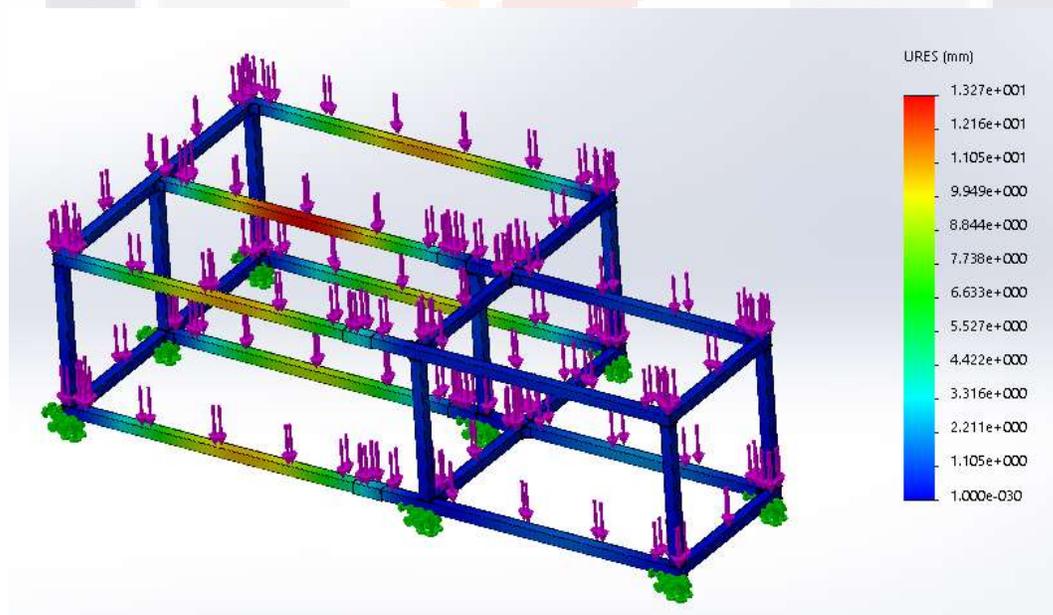


Ilustración 24. Representación de los esfuerzos presentados en la estructura metálica propuesta.

Podemos observar que fue necesario realizar un primer análisis estructural para tener el dato referente al total de carga de la estructura seleccionada, para que tomando dicho valor se pudiera realizar la selección del número de columnas más apropiado para el proyecto.

Basado en los resultados anteriores se procede a continuar con el proceso de diseño del sistema que nos permita controlar la altura de los cimientos aislados.

El siguiente paso fue la elección de la carga de diseño. Como se puede deducir de la imagen anterior que muestra el análisis de cargas, donde se colocaron las restricciones de movimiento (figuras de color verde), serán las distintas ubicaciones de las zapatas aisladas con su respectivo mecanismo. Se puede observar que cada cimiento aislado va a ser expuesto a diferentes valores de carga, situación normal en la practica de diseño y análisis estructural.

Como medida tomada por el autor para simplificar el proceso de diseño, se tomo la decisión de seleccionar el apoyo que reciba una mayor carga, asi las demás columnas estarán un poco sobradas con el fin de tratar de prevenir algun efecto dañino que se pueda presentar en el diseño estructural.

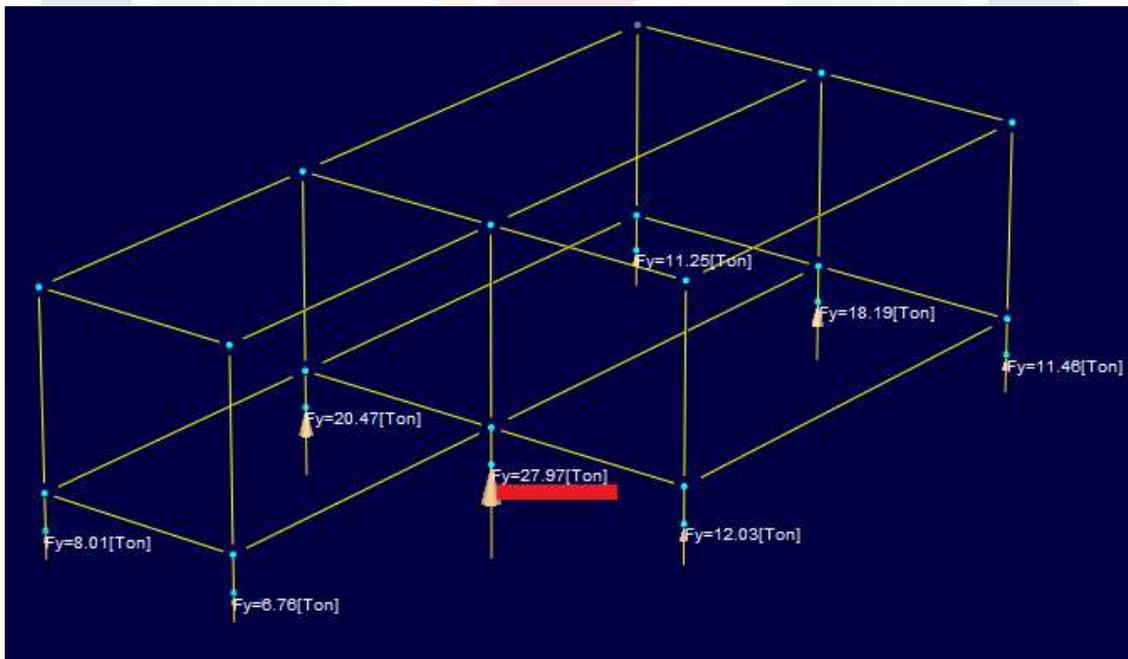


Ilustración 25. Selección de valor de carga a aplicar en el diseño mecánico del prototipo.

Como se observa en la imagen anterior, la carga de mayor magnitud es la de la columna que se encuentra al centro de la vivienda, por lo que como carga de diseño se selecciona veintiocho toneladas (28 Ton), por los motivos antes mencionados.

5.2 Primera propuesta de prototipo

La primera propuesta de prototipo es el resultado de la aplicación de un tren de engranes como respuesta a la necesidad de aumentar el nivel de desplante de una cimentación la cual está deplantada sobre subsuelo con problemas de hundimientos diferenciales.

Es por ello que se ha optado por realizar un prototipo en base a diseño mecánico, planteando en primera instancia el uso de un sistema en base a engranes y anexando posteriormente el uso de un tornillo sin fin, en el cual se aplicaría la fuerza necesario para accionar el mecanismo, además que da la ventaja de controlar el desplazamiento en un dirección, lo que nos permite enfocarnos, como se mencionó en párrafos anteriores, en los hundimientos diferenciales ocasionados por el fenómeno mencionado.

El libro de "Diseño de elementos de maquinas", de Robert L. Mott es el manual que se utilizará para el diseño del tren de engranes. El libro mencionado contiene un software para simplificar los cálculos, el cual tiene el nombre de "M Desing".

Como parte de los principios del manual, se plantea tener varios engranes unidos mediante el eje, con el fin de disminuir la potencia necesaria para hacer funcionar el prototipo.

Se toma la carga de diseño de veintiocho toneladas, la cual se sustenta en el capítulo anterior, así mismo esta se ingresa en el software "M-desing" los parámetros necesarios sustentados en el capítulo de marco teórico.

Así mismo, después de analizar como establecer la relación del mecanismo mencionado con el elemento constructivo, se toma la decisión de colocar una serie de dientes conocida como cremallera, a lo largo de una columna con el

fin que esta pueda recibir la fuerza a implementar en el tornillo sin fin, que a su vez pasara por los engranes hará que estos últimos ocasionen un desplazamiento en base a la relación con la cremallera mencionada. En dicha figura se muestra la colocación de la cremallera en la columna, creando un sistema que contara de un tramo de acero de tipo PTR, en cual se desplazara en un riel fabricado de placa de acero, cuya función restringir el movimiento vertical de la columna mencionada.

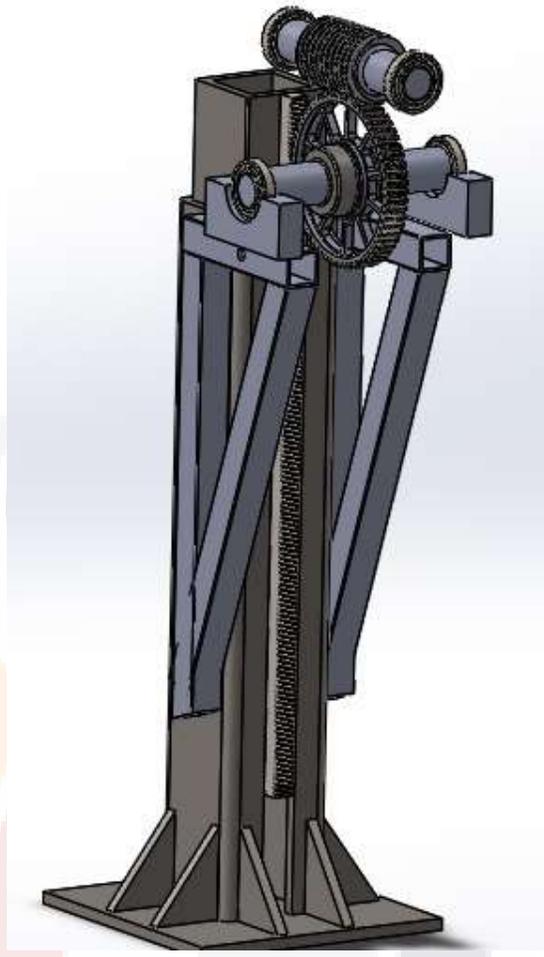


Ilustración 26. Primera idea de prototipo

Posteriormente se realizaban cambios en el sistema de engranajes, con el fin de hacer eficiente el diseño del mecanismo buscando que este se pueda activar con la menor energía posible y así disminuir los costos de mantenimiento del sistema.

Como cambios al mecanismo se analiza ingresar otro eje de engranes, para que además de disminuir la energía necesaria, se puedan obtener una mayor precisión de desplazamiento, además de que no es necesario implementar mucha velocidad debido a los desplazamientos de poca magnitud.

Al termino de los cálculos correspondientes al análisis del sistema, se dimensionará de forma minuciosa mediante el software antes mencionado, para así realizar el modelado correspondiente.

Cabe mencionar que el prototipo solo abarcará el mecanismo que permite el movimiento vertical de la columna, con el fin de abaratar costos y teniendo en cuenta que no es necesario fabricar la columna en una sola pieza, pues con

las especificaciones del material seleccionado nos podremos dar cuenta no que tendrá problema para transmitir las cargas de la estructura al subsuelo.

5.3 Primer diseño; descripción del funcionamiento

Se presenta a continuación la primera propuesta de prototipo, la cual funciona en base a un tren de cinco engranes que son activados por un tornillo sin fin y que accionan el movimiento de una columna dentada.

El cálculo de las dimensiones de los elementos mecánicos se realiza mediante un software especializado (m-desing), software de uso gratuito para fines educativos, ofrecido por el libro "Diseño de elementos de maquinas" (Mott, 2006) con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de los elementos así como sus capacidades resistentes.

Los cálculos se resumen en el diseño y comprobación de un sistema mecánico que permita desplazar una carga de veintiocho toneladas, la cual es descrita y sustentada en el capítulo anterior.

En la sección B del capítulo correspondiente a anexos se puede consultar a detalle los diferentes cálculos referentes al diseño del tren de engranes, en los cuales se secciona el mecanismo según el contacto de elementos. Siguiendo la notación de la siguiente imagen, se realizaron cálculos referentes a la transmisión de potencia del tornillo sin fin al engrane número dos, posteriormente del engrane número 3 al engrane número 4, del engrane número 5 al engrane número seis, y del este último engrane a la cremallera incrustada en la columna.

Cabe resaltar que, como lo menciona el material bibliográfico (Mott, 2006), el tamaño de los engranes aumenta a lo largo del sistema, con el fin de transformar la potencia mínima aplicada a la carga de veintiocho toneladas, limitante de diseño expuesta anteriormente.

Gracias a los resultados obtenidos se dimensionaron los elementos seleccionando el material así como demás factores relacionados a la vida útil y

mantenimiento del mecanico, como se muestra en el subcapítulo del marco teorico relacionado al diseño mecanico.

Posterior al cálculo del mecanismo

Se procede a realizar una descripción detalla de la primera propuesta del prototipo diseñado.La siguiente imagen es una vista lateral en la que se muestra

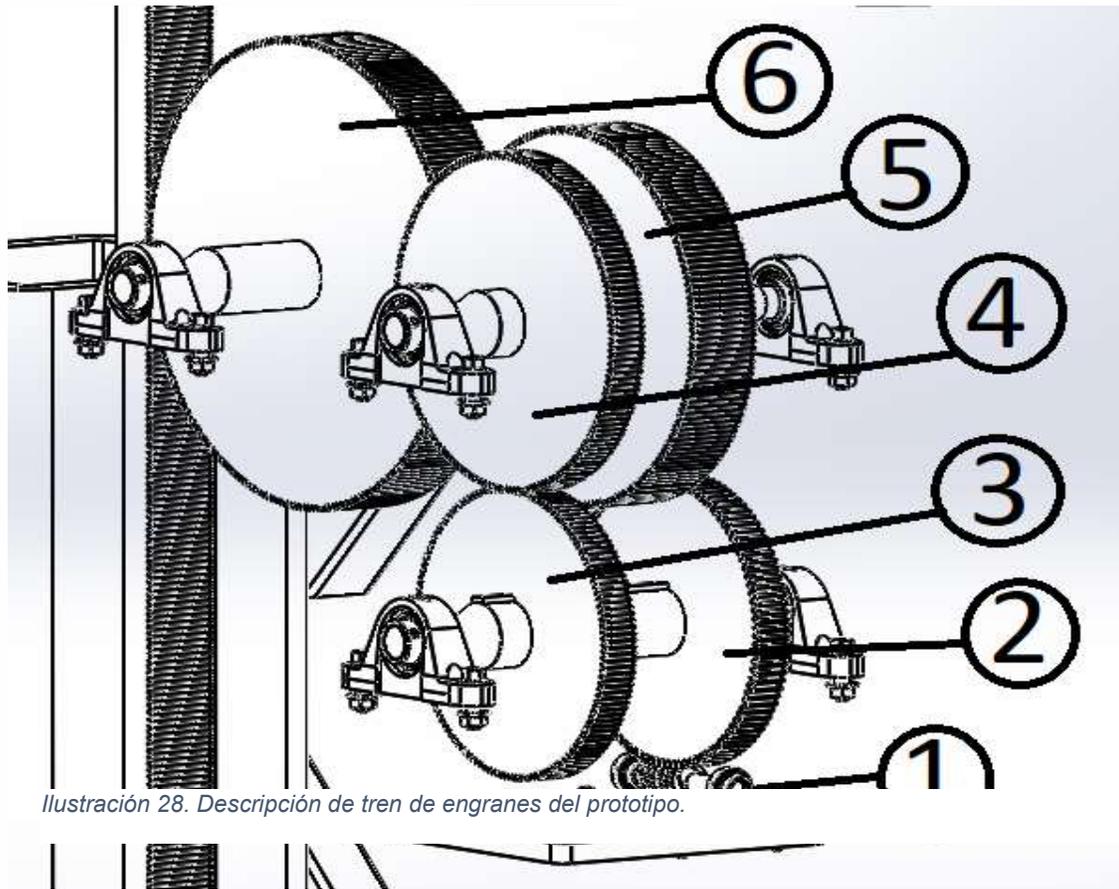


Ilustración 28. Descripción de tren de engranes del prototipo.

Ilustración 27. Descripción del prototipo

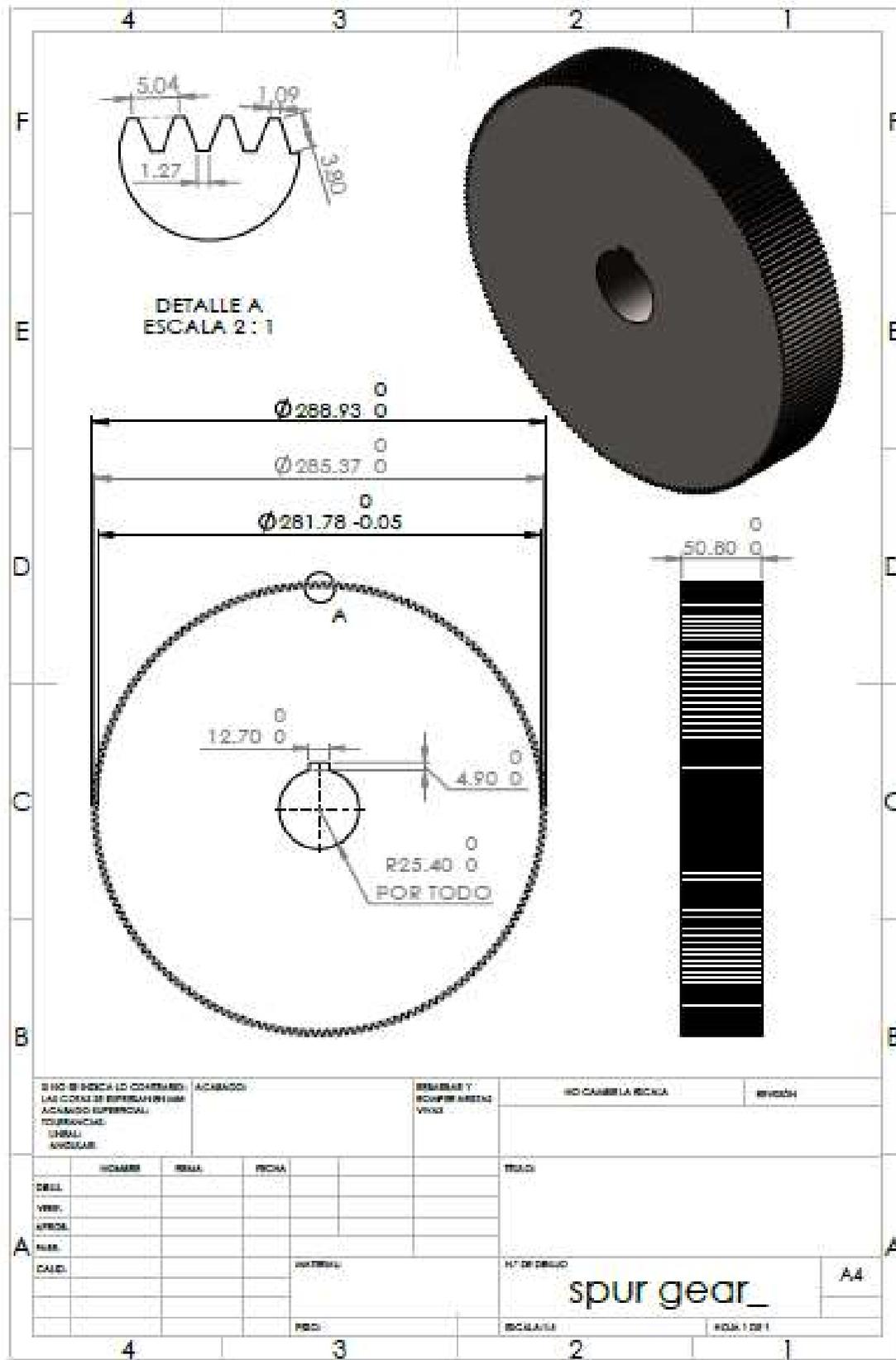


Ilustración 29. Plano descriptivo engranaje 6.

la primera parte del prototipo denominada tren de engranes, el cual tiene la función de recibir y transmitir la potencia efectuada con el fin de la altura del cimiento pueda crecer cuando se presenten los hundimientos en el subsuelo.

El tren de engranes consta de seis partes fundamentales, la número uno es un tornillo sin fin, es el elemento inicial del tren de engranes y es el encargado de recibir la fuerza inicial y transmitirla al tren de engranes.

De los números 1 al 6 son los diferentes engranes diseñados para transformar la fuerza inicial en una de mayor dimensión que logre equilibrar la estructura.

Posteriormente en la imagen complementaria del prototipo se muestra la cremallera, número 7, también mostrada en la figura 1 en contacto con el elemento identificado con el número seis, la cual va unida a la corredera que es el elemento que está en contacto con la estructura de la construcción a nivelar.

El número 8 corresponde a la corredera, es el elemento que se va a desplazar para mantener en un nivel determinado la edificación, el número nueve es llamado estructura de soporte del tren de engranes, con el fin de evitar desplazamientos y transmitir las cargas hacia los elementos poste

riores.

El número 10 es la camisa de la corredera, tiene la finalidad de evitar todos los movimientos horizontales de la corredera, con el fin de que se mantenga en un eje y no permita desplazamientos inesperados.

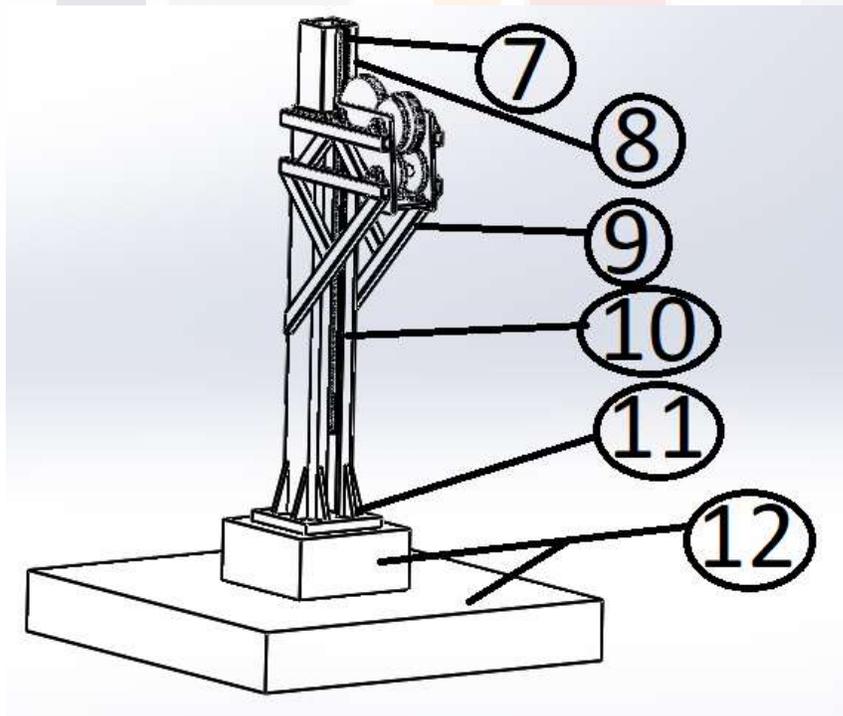


Ilustración 30. Descripción de elementos del prototipo.

El numero once son los elementos de transmision de carga, las placas en forma triangular ayudar a aumentar la superficie de contacto asi como la placa rectangular es la union entre los elementos de acero y los de concreto.

El numero doce se compone de estructuras de cimentacion convencionales, dado y zapata de concreto, los cuales tienen la función de transmitir la carga al suelo sobre el cual se desplanta la estructura.

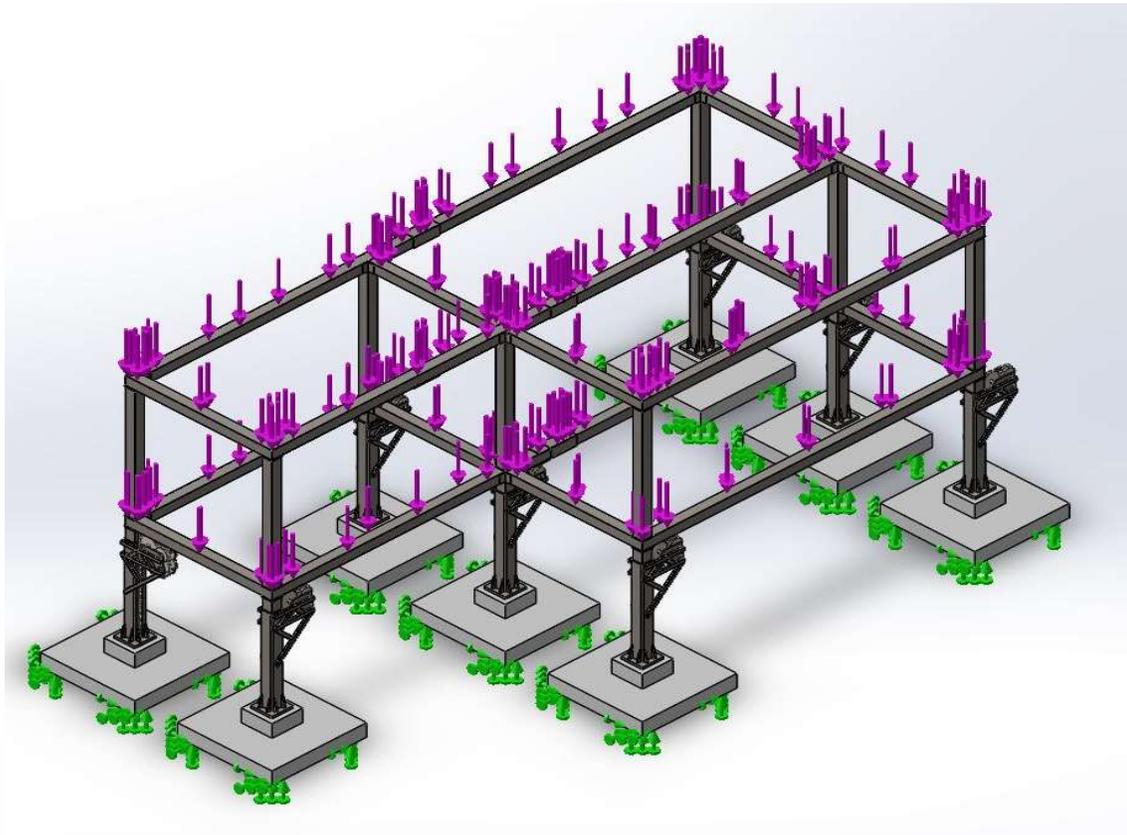
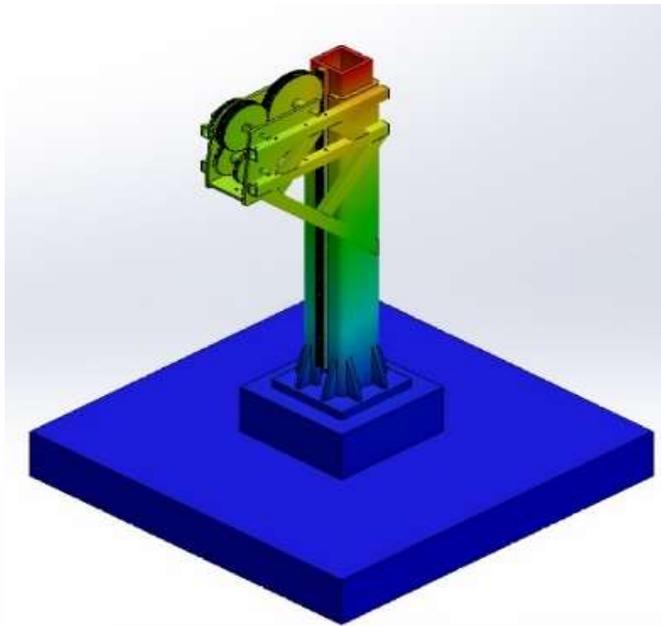


Ilustración 31. Integración del prototipo al sistema de cimentacion.

5.4 Análisis estatico del prototipo.

Referente a la evaluación del prototipo se opta por realizar un análisis estatico



aplicando la carga de diseño de veintiocho toneladas, al sistema en conjunto, con el fin de observar el comportamiento de los distintos elementos del prototipo cuando éste se encuentre en funcionamiento.

Los resultados, referentes a los desplazamientos nos arrojan movimiento de la parte superior del prototipo, en la cual se aplica la fuerza

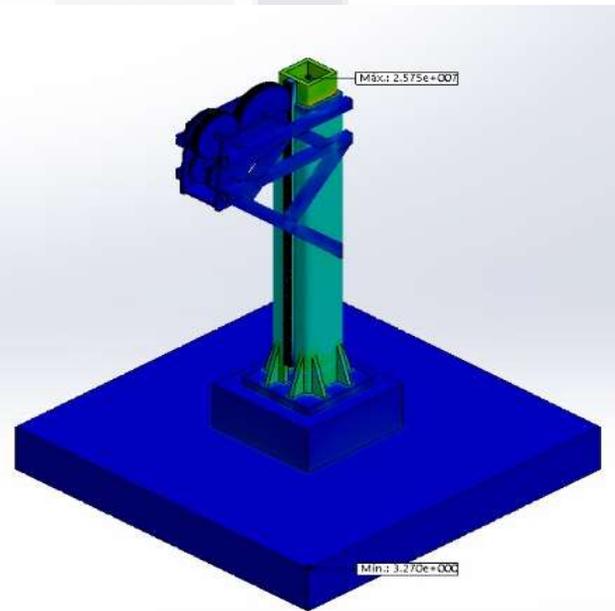
Ilustración 33. Malla de analisis de desplazamientos.

(esquematisada de color rojo). Los desplazamientos se identifican con magnitud de 0.0868 milímetros, dato que se toma como acertado debido a la magnitud tan reducida.

En cuanto a las deformaciones se presentan de mayor magnitud en las zonas de transmisión de carga, mismas que no llegan a afectar el funcionamiento del prototipo según los resultados arrojados. Los resultados completos de los análisis se encuentran en la sección "A"

Ilustración 34. Malla de analisis de deformaciones.

del capítulo de anexos, por si se desea consultarlos a detalle.



5.5 Análisis del prototipo desarrollado, necesidad de mejoras

Al realizar un análisis general del prototipo anterior, se concluye que el sistema tiene capacidad de funcionamiento, pero así mismo se observan deficiencias como un exceso de material y nivel de detalle necesario para el maquinado de los engranes, pues como se observa en el plano anterior relacionado a la dimensión de los engranajes, los dientes de los mismos eran planteados con una altura de cinco milímetros, lo que complica y encarece el proceso de fabricación.

Así mismo se busca igualmente reducir la cantidad de acero en el prototipo, con el fin de optimizar tanto materiales como recursos de construcción.

Como parte de los principios que se buscaban implementar en el prototipo a desarrollar se pretende que el mecanismo se encuentre dentro de la columna, y con ello se plantea un prototipo no tan sofisticado y que cumpla con las

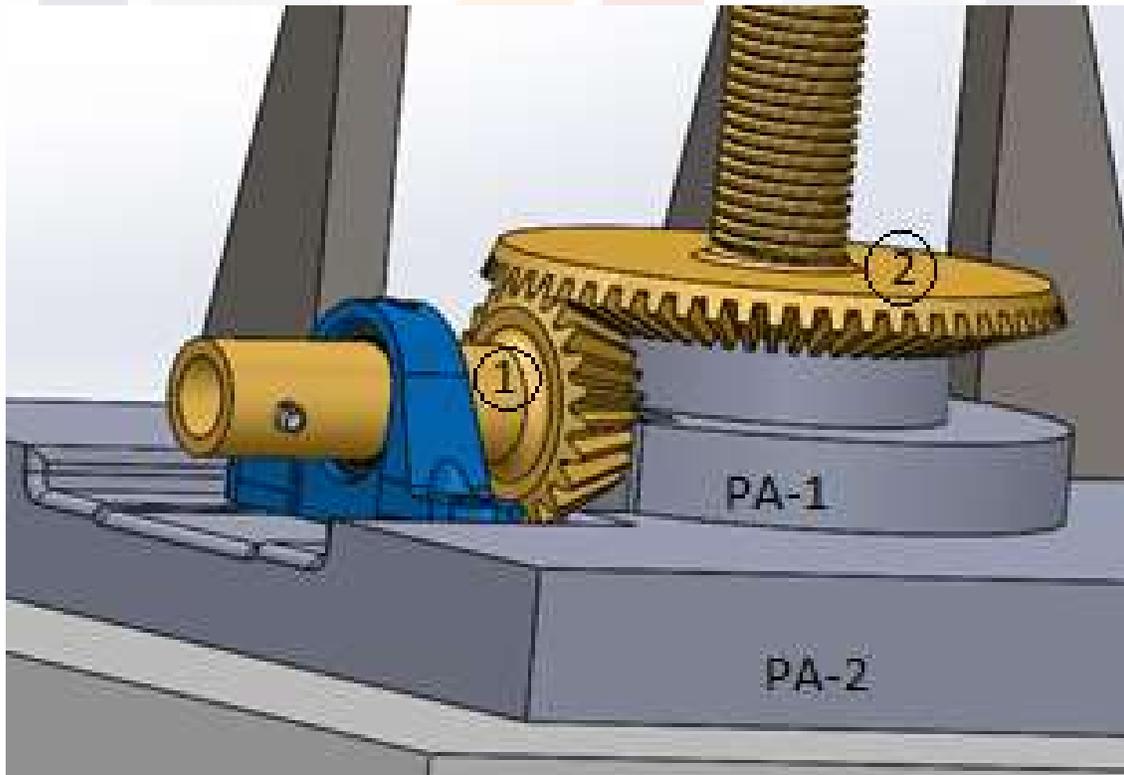


Ilustración 35. Descripción de sistema mecánico en el nuevo diseño de prototipo.

necesidades mencionadas anteriormente.

Como tal se plantea la reducción de engranes a dos piezas perpendiculares entre sí, como se muestra en la figura anterior. El engrane número 1, el de menor tamaño, es que el que recibe la fuerza necesaria para hacer funcionar el sistema, el cual está en contacto con el engrane número dos, mismo que está en unión con un tornillo, el cual se activa el mecanismo realizará rotaciones sobre su mismo eje, con el fin de desplazar las tuercas de unión que muestran en la siguiente figura. El engrane número 2 se apoya en la placa PA-1, cuya función es servir de apoyo para el engrane, así como transmitir la fuerza recibida del engrane hacia la placa PA-2, la cual es uno de los componentes de acero con la zapata de concreto.

Al ponerse en movimiento el mecanismo del engrane el tornillo procede a girar en su propio eje, y como resultado de esta acción se origina un desplazamiento de las diferentes tuercas a lo largo del tornillo, como se muestra en la figura. Con este desplazamiento se busca que la estructura de la cimentación aumente su tamaño con el fin de adaptarse a los hundimientos suscitados en el subsuelo.

El número de tuercas a colocar es de siete unidades, número que se seleccionó

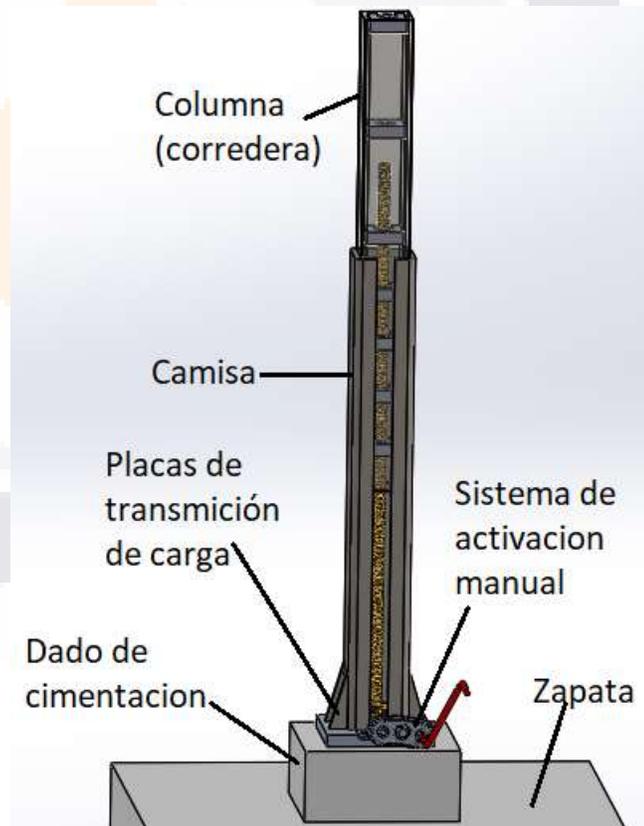


Ilustración 36. Descripción de elementos en prototipo mejorado

con el fin de que la repartición de esfuerzos a lo largo de la columna a explicar posteriormente, se realizara a lo largo de la misma, optando por un rango de separación de cuarenta centímetros en las tuercas superiores, y un rango de separación de veinte centímetros en las tuercas inferiores con el fin de asegurar la salud estructural del prototipo cuando este este en la fase final de su vida útil, ya que en esa etapa de funcionamiento las tuercas en contacto con el tornillo disminuyen pudiendo provocar fallas en la zona critica.

Las tuercas rectangulares mencionadas anteriormente son soldadas al interior de la columna como se muestra en la imagen lateral. Para facilitar la

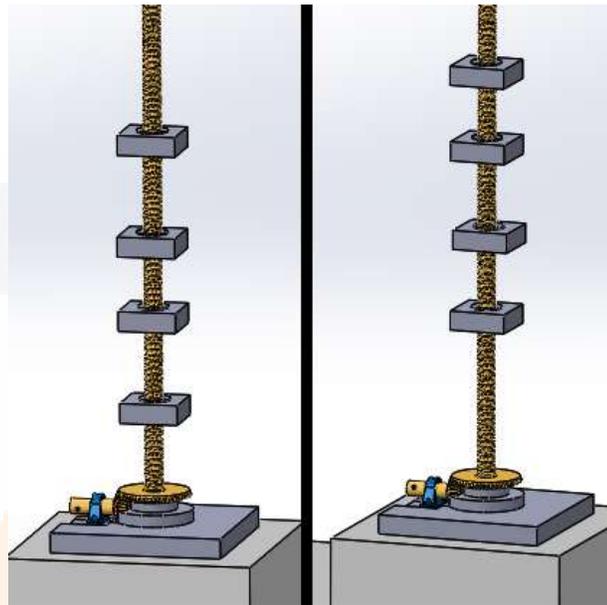


Ilustración 37. Descripción de funcionamiento del prototipo.

visualización de las tuercas en la figura siguiente, se optó por cambiar la transparencia de la columna (o corredera como también suele llamarse), para que así se pueda observar y comprender de mejor manera el funcionamiento del prototipo.

La longitud del elemento camisa es de dos metros, con el propósito de que el prototipo tenga la capacidad de mantener la estabilidad estructural de la edificación con hundimientos en el subsuelo de hasta 2 metros.

El componente de Camisa está diseñado para anular los desplazamientos laterales que pueda presentar la columna al activarse el mecanismo.

Las placas de transmisión son utilizadas con el fin de colaborar con la fijación de la camisa a la placa base, y así mantener la integridad estructural del prototipo.

El sistema de activación manual del prototipo es un sistema de engranajes que no forma parte del prototipo con tal, sino que en caso de querer activar el prototipo manualmente, este mecanismo nos ayuda a disminuir la fuerza necesaria, logrando que se pueda manipular por el usuario sin necesidad de motores aplicadores de potencia externos.

Por último, encontramos los elementos de cimentación de concreto, los cuales fueron diseñados previamente para soportar y transferir al subsuelo el valor de la carga de diseño antes mencionado.



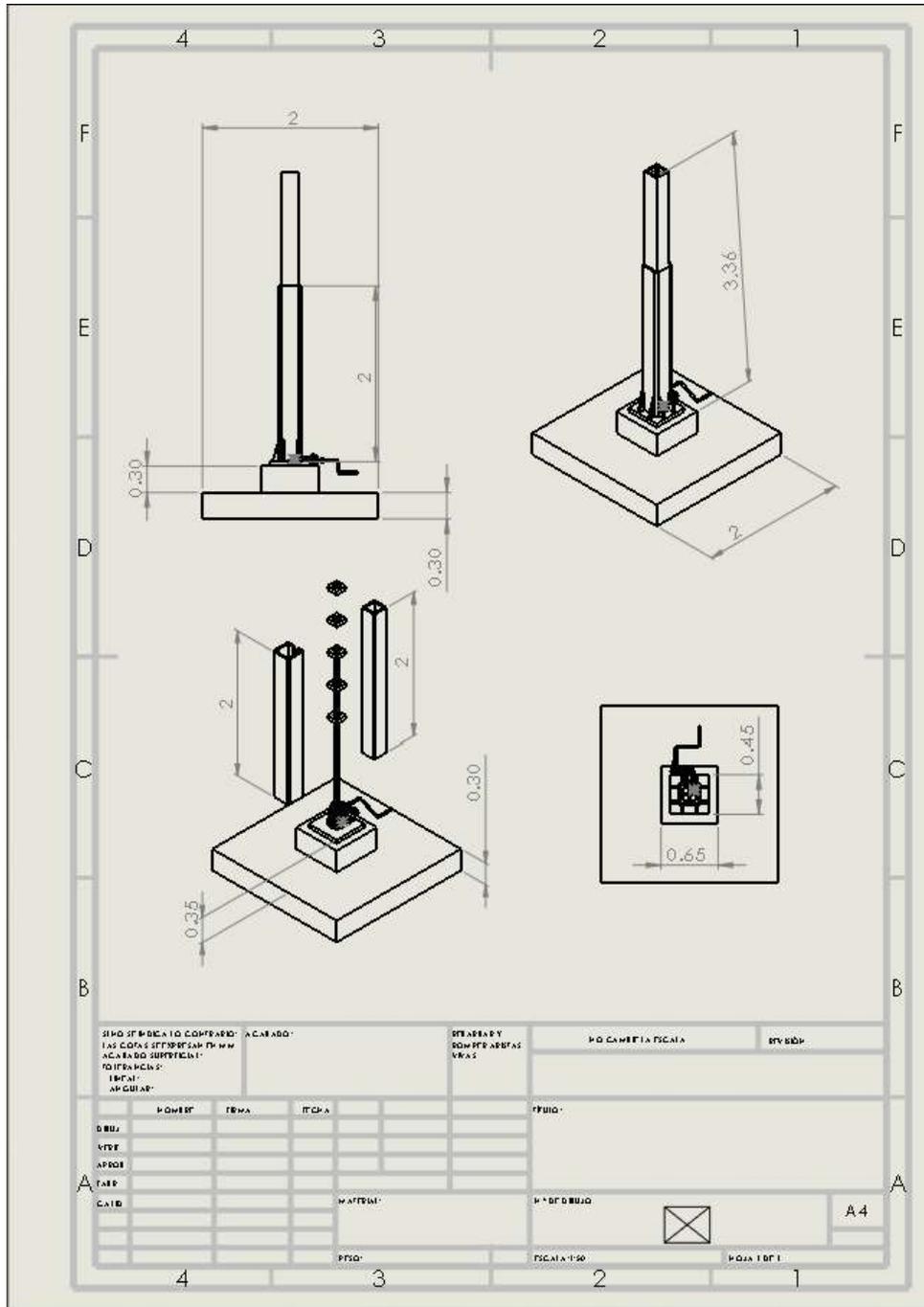


Ilustración 38. Plano de dimensiones de prototipo con mejoras.

5.6 Análisis estatico del prototipo mejorado

Al igual que el prototipo inicial, el prototipo mejorado se somete a análisis estatico con el fin de comprobar el correcto funcionamiento asi como la

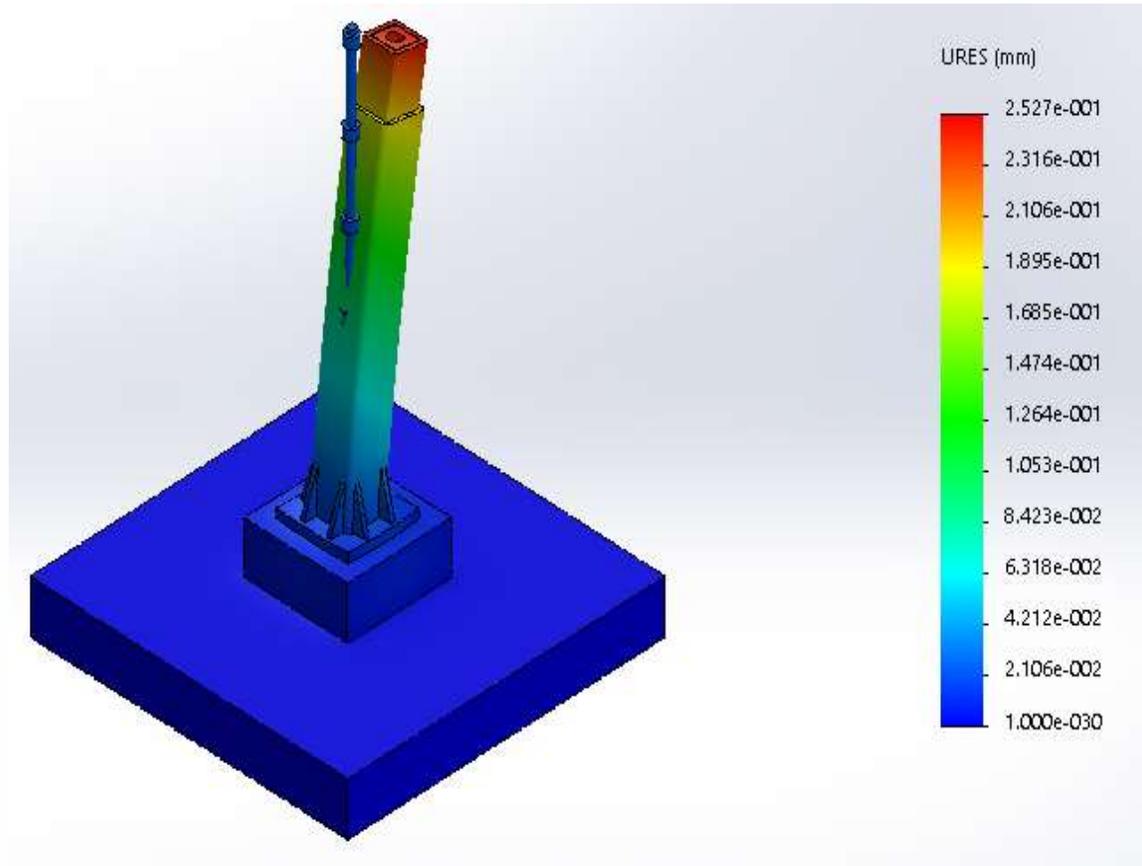


Ilustración 39. Mallado de desplazamientos en el proptotipo mejorado.

capacidad estructural del mismo.

En la imagen anterior de observa que los mayores desplazamientos se encuentran en el orden de 0.227 milímetros, cifra mayor al análisis del proptotipo anterior, pero que sigue siendo considerada como despreciable.

En la parte "A" de los anexos se pueden consultar con mas detalle el análisis estatico del prototipo.

CAPÍTULO

VI

INTEGRACIÓN DEL PROTOTIPO AL PROYECTO CONSTRUIDO

CAPITULO VI: INTEGRACION DEL PROTOTIPO AL PROYECTO CONSTRUIDO.

6.1 Colocacion del prototipo en el proyecto constructivo

En este capitulo se procede a describir la integración del prototipo desarrollado y analizado en el capitulo anterior, a la obra de vivienda descrita en el capitulo correspondiente a la selección del caso de estudio.

Recordemos la estructura propuesta y analizada anteriormente, misma que observamos en la siguiente imagen. En la parte de la cimentacion se puede observar que se han colocado distintos prototipos en cada zapata aislada, con el fin de que cada cimiento tenga la capacidad de adaptarse a posibles hundimientos diferenciales.

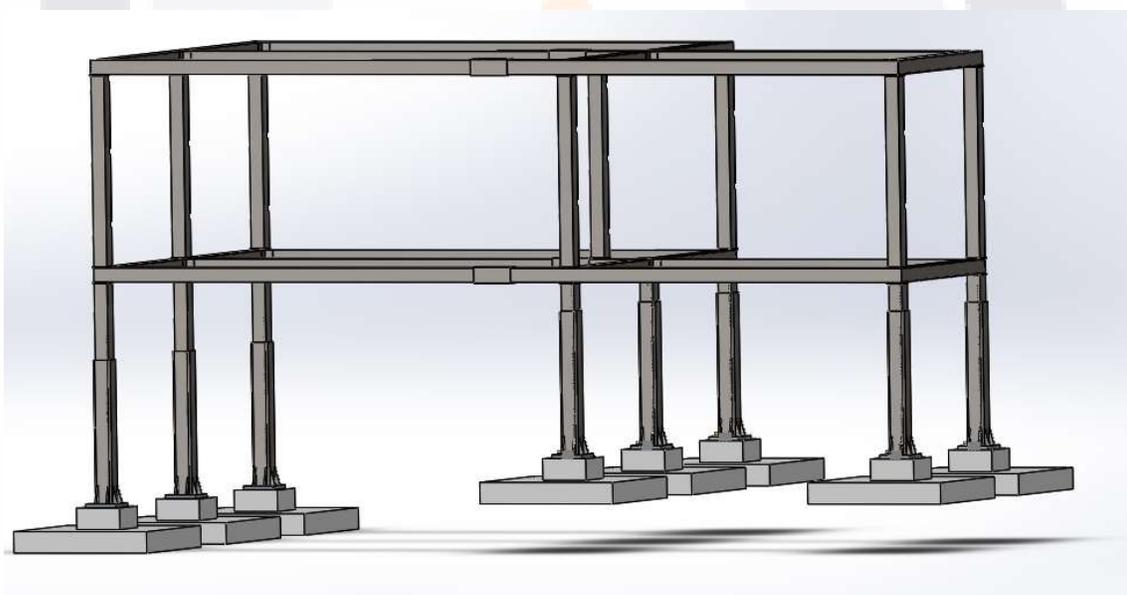


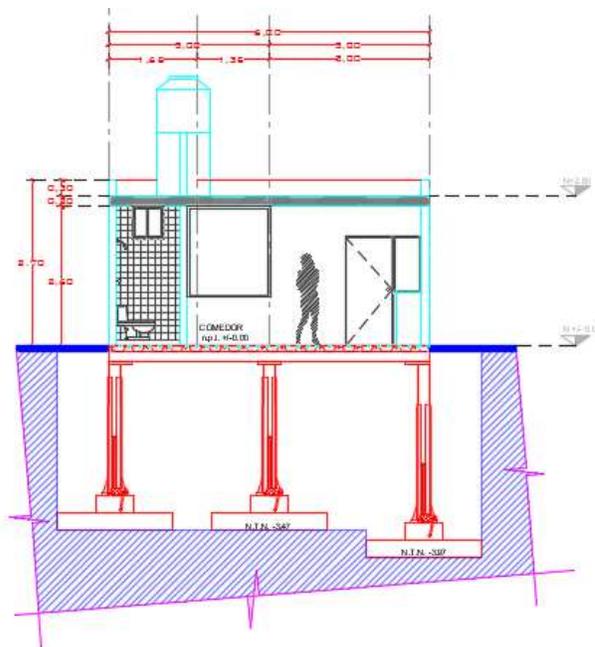
Ilustración 40. Colocación del prototipo en la estructura propuesta.

Se puede observar que las zapatas aisladas colocadas en la parte izquierda de la ilustración están desplantadas a un nivel inferior al resto de los demás cimientos aislados, intentando representar una respuesta del funcionamiento ante una posible problematica de hundimientos diferenciales en el subsuelo.

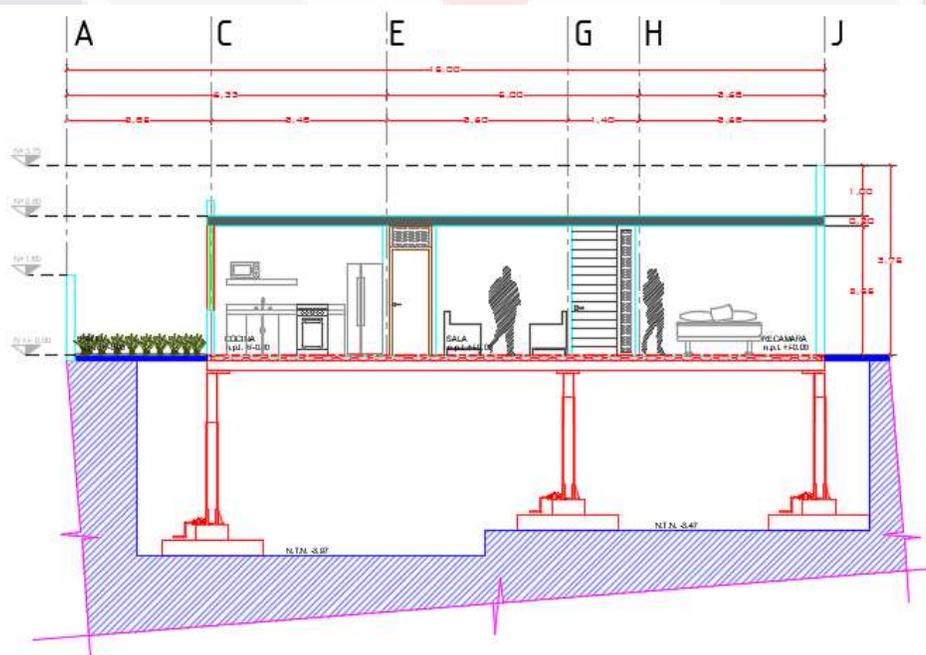
Con el fin de detallar un poco mas las características propuestas por el autor se presentan a continuación dos secciones en corte de la vivienda propuesta. En

ellas se puede observar las características de la vivienda propuestas en capítulos anteriores, como la losa en planta baja de tipo "losacero", así como la

estructura metálica responsable del soporte de la vivienda.



CORTE TRANSVERSAL B-B¹
ESCALA 3/8



CORTE LONGITUDINAL A-A¹
ESCALA 3/8

Ilustración 41. Cortes ilustrativos de la vivienda con prototipo integrado.

Referente a la manipulación del prototipo por parte del usuario se plantean dos posibles alternativas mostradas a continuación. Cabe señalar que son las que el autor propone, pero existe la posibilidad de que se encuentren otras alternativas tanto en el mercado como mediante el conocimiento del operario.

La primera propuesta para la manipulación del sistema consiste en la implementación de un sistema mediante una caja de engranes, la cual se activa mediante una palanca, que esta indicada en la imagen con color rojo.

Al aplicarse el giro a la palanca por parte del usuario, se gana toque mediante el sistema realizado a base de tres engranes como se muestra en la figura. Cabe mencionar que aproximadamente por cada giro de la palanca el sistema se desplaza aproximadamente 0.5 milímetros, por lo que son necesarias varias repeticiones con el fin de lograr un desplazamiento considerable.

Se eligió la consideración anterior ya que no se necesita un desplazamiento con una velocidad importante por lo que se sacrifica el número de giros del autor con el fin de que un individuo promedio tenga la capacidad de manipular el sistema cuando sea necesario.

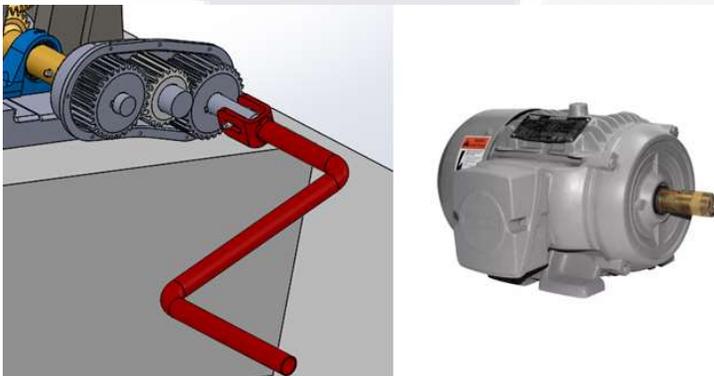


Ilustración 42. Alternativas propuestas para la manipulación del prototipo propuesto.



CAPÍTULO
VII

**DISCUSIÓN DE RESULTADOS:
COMPARATIVA DEL PROTOTIPO
DESARROLLADO CONTRA PROYECTO DE
CONSTRUCCIÓN INICIAL**

CAPITULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS: PROCESO DE DISEÑO DEL PROTOTIPO Y COMPARATIVA DE PRESUPUESTOS CONTRA VIVIENDA CONVENCIONAL

7.1 Análisis evolutivo del prototipo.

El objetivo del presente subcapítulo es comparar los dos análisis estáticos de las etapas del diseño del prototipo, los cuales se muestran en la siguiente imagen.

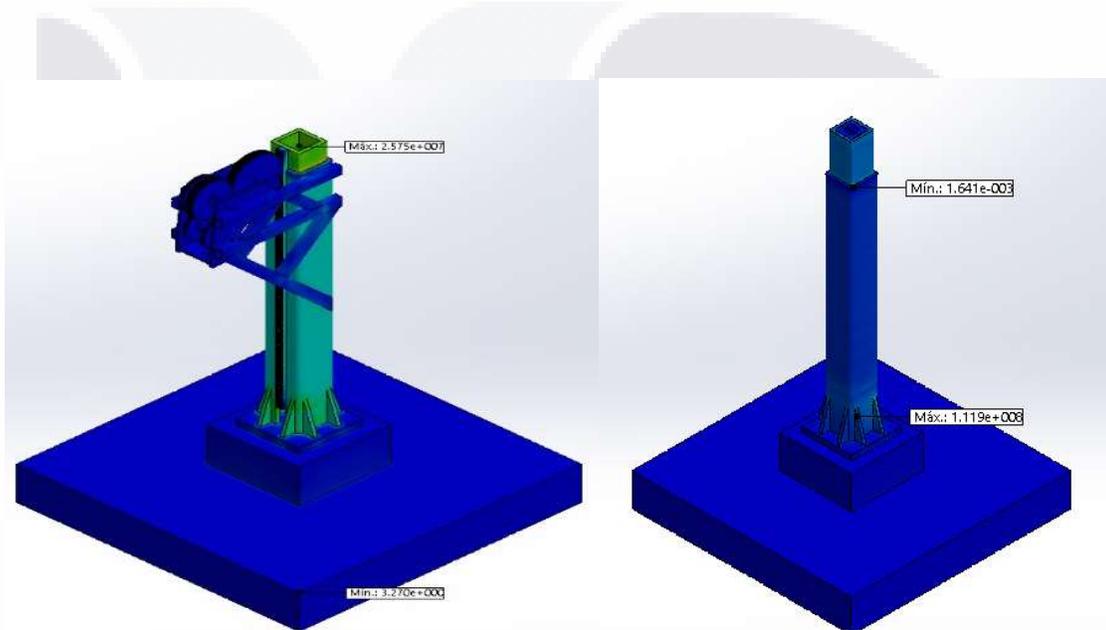


Ilustración 43. Comparativa entre resultado de tensiones en prototipos

La imagen anterior muestra la malla de los prototipos que corresponde al análisis de las tensiones que se presentan en los elementos del prototipo cuando el mismo se acciona para nivelar la carga de diseño.

Podemos observar como es que, en el primer avance del prototipo, el elemento de la columna se muestra en tonos azul agua y verde, lo que nos indica que es el que esta recibiendo y transmitiendo la carga a los elementos de concreto.

El mecanismo del tren de engranes es únicamente para accionar el sistema, no presenta tensiones puesto que no colabora con la capacidad de carga, razon por la cual se implementan mejoras al prototipo con el fin de desarrollar un

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

mecanismo que colabore tanto con el mecanismo de movimiento como con la capacidad de carga.

Es por ello que se considera que las mejoras aplicadas al prototipo nos arrojan un sistema que es eficiente en el uso del material, puesto que el tornillo roscado interior así como las tuercas de soporte hacen la función de arriostamiento del elemento, lo cual, como se puede comprobar en la imagen, reduce los esfuerzos de tensión en el elemento principal, reduciendo así tanto el costo como el proceso de ensamblaje del sistema.

7.2 Comparativa de presupuestos; prototipo mejorado contra construcción inicial.

Como parte de este capítulo se desarrollarán comparativas entre el sistema descrito anteriormente y el proyecto de vivienda convencional, agregando la comparativa del valor económico entre la construcción de la cimentación convencional de la obra seleccionada y la construcción de la cimentación con el prototipo de columna roscada, mismo que se selecciona como el más eficiente en comparativa con el prototipo tornillo cremallera.

A continuación, se exponen los presupuestos, los cuales se obtienen de bases de datos del software "Neodata: precios unitarios", las cuales son publicadas y actualizadas cada mes del año. Así mismo los conceptos relacionados con la ingeniería mecánica y engranajes, fueron solicitados con personal dedicado a ese ámbito, ubicado en la ciudad de Aguascalientes.

Es importante aclarar que solo son considerados en el presupuesto los costos directos de la obra, ya que los demás parámetros como costos indirectos, utilidad, etc... dependen de otros factores ajenos a este trabajo de investigación.

Presupuesto casa convencional

Tabla 3. Presupuesto casa habitacion convencional.

Proyecto: Vivienda Ciprés					
Lugar: Las Cañadas			 UNIVERSIDAD AUTONOMA DE AGUASCALIENTES		
PRESUPUESTO					
CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PU	
PRE00	Preliminares				
PRE001	Limpieza y despalme del terreno retirando material no deseado y material vegetal con espesor promedio de 20 cm, de nivel de la banquetta hacia abajo. Incluye herramienta (pico, palas y carretillas), mano de obra y recolección.	m ²	90.00	\$9.62	\$866.16
PRE002	Carga y acarreo del material de desecho al tiradero municipal al primer kilometro de distancia, incluyendo cargador y camión de volteo.	m3-km	8.20	\$37.96	\$311.24
PRE003	Carga y acarreo del material de desecho al tiradero municipal a kilometros subsecuentes, incluyendo cargador y camión de volteo.	m3-km	8.20	\$9.89	\$81.08

PRE004	Trazo y nivelación del terreno natural incluyendo puentes de madera para nivelación. Incluye personal calificado, herramientas (Regla de nivelación, martillo, clavos, cal e hilo).	m ²	90.00	\$10.38	\$934.20
TOTAL DE PRELIMINARES:				67.85	2192.68
CIM00	Cimentación				
CIM001	Relleno con material producto de excavación compactado al 90% proctor en capa de 25 cm. Incluye suministro, acarreo y selección de material de relleno, adición de agua necesaria, herramienta y mano de obra.	m ³	9.88	\$185.32	\$1,830.92
CIM003	Excavación a máquina en material tipo 1 para zanja de zapata corrida. Incluye afloje de material, extracción, limpieza en plantilla de 0.00 m a 0.60 m	m ³	12.99	\$56.22	\$730.30
CIM004	Relleno de aproches con material producto de excavación apisonado. Incluye suministro, acarreo y selección de material de relleno, adición de agua necesaria, herramienta y mano de obra.	m ³	6.49	\$59.94	\$389.01
CIM005	Losa de cimentación armada f'c=200kg/cm2 con refuerzo a base de malla electrosoldada 6x6-10x10 y contratrabes	m ³	0.38	\$3,311.58	\$1,251.78

	centrales con 4 varillas de 3/8". Incluye cimbra, descimbra, herramienta, mano de obra y todo lo necesario para su ejecución.				
CIM006	Suministro y colocación de zapata corrida de dimensiones 60x20 cm de concreto $f'c=250$ kg/cm ² y armado de varillas del No. 4 a 20 cm en el lecho inferior. Incluye plantilla de 5 cm de espesor a base de concreto pobre $f'c=100$ kg/cm ² , colado, vibrado y curado.	m ³	3.78	\$4,314.74	\$16,309.73
CIM007	Suministro y aplicación de impermeabilizante a base de membrana plástica de usos múltiples a lo largo del área de la losa de cimentación.	m ²	39.52	\$543.18	\$21,466.47
CIM008	Anclaje de castillo, incluye cargo directo por el costo de los materiales, herramientas y mano de obra que intervengan.	PIEZA	30.00	\$51.04	\$1,531.08
CIM009	Cadena de desplante y cerramiento armado con armex 15x20x4 con concreto $f'c= 200$ kg/m ² .	mL	12.01	\$347.58	\$4,174.44
TOTAL DE CIMENTACIÓN:					\$47,683.73

Presupuesto de casa habitación con prototipo desarrollado

Proyecto: Vivienda Ciprés					
Cañada Honda, Aguascalientes					
PRESUPUESTO					
CLAV	Concepto	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
PRE00	Preliminares				
PRE04	Trazo y nivelación del terreno natural incluyendo puentes de madera para nivelación.	m ²	90.00	10.38	\$934.20
TOTAL DE PRELIMINARES:					\$934.20
CIM00	Cimentación				
CIM003	Excavación a cielo abierto a máquina en material tipo I-A, de 0.00 a -2.00 m.	m ³	130.20	36.57	\$4,761.41
TOTAL					\$4,761.41
PROT001	Prototipo en cimentacion				

PROT 001	Plantilla de 5 cm, de espesor de concreto hecho en obra de F'c=100 kg/cm2.	m2	15.68	117.27	\$1,838.79
PROT 002	Cimbra en zapatas de cimentación, acabado común.	m2	18.88	171.15	\$3,231.31
PROT 003	Acero de refuerzo en estructura del No. 5 (5/8"), de Fy=4200 kg/cm2.	kg	129.8656	20.06	\$2,605.10
PROT 004	Concreto premezclado en cimentación, clase "A" de F'c=250 kg/cm2.	m3	5.392	2176.84	\$11,737.52
PROT 005	Asentamiento de placas metálicas de estructura a base de festergrout N.M. no metálico.	m3	0.018288	41119.52	\$751.99
PROT 006	Suministro y aplicación de placa base de acero A-36 de 1/2" (13 mm) de 30x30 cm, con 4 anclas de redondo de 3/4"	pza	8	800.78	\$6,406.24
PROT 007	Suministro y aplicación de placa A-36 ligera para formar la camisa que sujeta	kg	2577.52	34.43	\$88,744.01

	la columna del prototipo.				
PROT 008	Suministro y aplicación de estructura metálica aplicado como columna del prototipo, con detalles de tuercas interiores como indica plano	kg	2544.08	34.43	\$87,592.67
PROT 009	Suministro, fabricación e instalación de engrane de especificaciones en plano, fabricado a base de placa A-36.	kg	20.48	60.57	\$1,240.47
PROT 010	Suministro, fabricación e instalación de engrane-tornillo con especificaciones en plano anexo, fabricado a base de placa A-36.	kg	258.2352	60.57	\$15,641.31
PROT 011	Suministro, e instalación de soportera con especificaciones en plano anexo.	lote	8	658	\$5,264.00

PROT	Suministro,	kg	80.64	40.35	\$3,253.82
012	fabricacion e instalacion de tuercas con especificaciones en plano anexo, fabricado a base de placa A-36				
TOTAL partida					\$228,307.26

Los resultados de los presupuestos relacionados al costo directo de los materiales nos arrojan un incremento en el costo de aproximadamente 400%, puesto que el costo directo de la cimentacion en el proyecto convencional es \$47,683.73, mientras que el del sistema de cimentacion desarrollado es de \$228,307.26, como se observa no es posible competir con el sistema de cimentacion convencional en el ámbito economico.

Es posible, quedando como nicho de investigacion, que para proyectos constructivos de mayor tamaño la diferencia no sea tan importante en cuanto a los presupuestos, debido a que el costo de la cimentacion se incrementa considerablemente en función al numero de plantas de la edificación, mismo que en nuestro caso se reduce a una sola planta de una casa habitación.

Se pretende introducir el concepto de dar un valor agregado, que pudiera tener tanto el inmueble como el terreno, con el fin de motivar a una inversión de tal magnitud para realizar la construcción de sistema desarrollado anteriormente.



CAPITULO VIII: CONCLUSIONES

8.1. Conclusión General

El prototipo de cimentación propuesto es una herramienta para lograr la posibilidad de edificar en subsuelo afectado por el fenómeno de subsidencia.

Es necesario continuar con los análisis, así como con la construcción real del mismo para seguir modificando el diseño buscando el mejor desempeño de este, ya que los análisis se limitaron a realizarse en las condiciones propuestas por un software.

Es importante considerar que las dimensiones del prototipo están en función de la carga aplicada a cada cimiento aislado, por lo que depende la magnitud de la obra constructiva.

8.2. Conclusiones Particulares

Al no ser competitivo en costo contra un sistema de construcción convencional, es necesario una inversión extra por parte del propietario; ya que como se muestra en el capítulo VII, la diferencia entre precios es considerable. Un terreno desplantado en una zona de un importante desarrollo habitacional así como un terreno con valor histórico podrían ser causas para que se realice un sobrecosto por parte del propietario.

La vida útil del prototipo depende la cantidad de hundimiento registrado a lo largo de los años.

Los análisis de carga se realizaron tomando en cuenta que el acero es de tipo A36, ya que en una aleación muy utilizada en el mercado por sus características y precio. Cabe destacar que la estructura de soporte puede realizarse de otro material de mejor calidad, teniendo en cuenta que se aplicaría un sobrecosto a considerar.

8.3. Nichos de Investigación

Construcción de prototipo en físico representaría tener la certeza del comportamiento real del sistema ante la aplicación de las cargas seleccionadas para su diseño. Permite observar cualidades así como identificar posibles debilidades a tomar en cuenta en una nueva etapa de diseño.

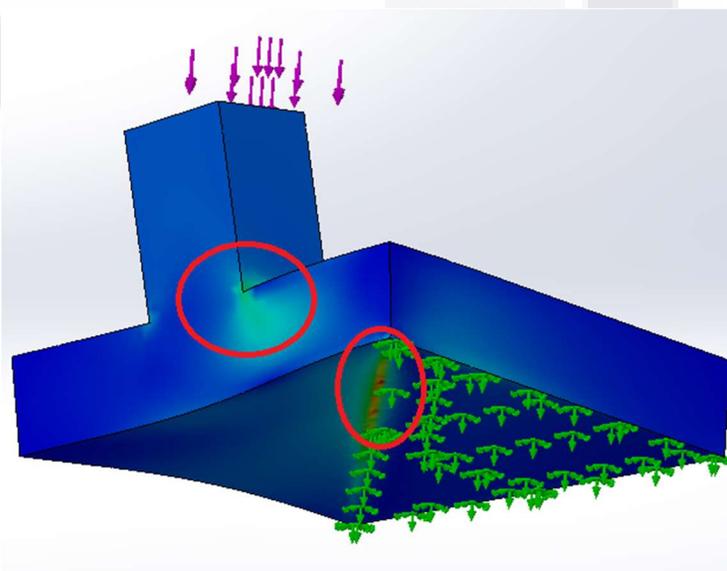
Dimensionamiento de las uniones tanto a nivel de cimentación como en la estructura metálica propuesta, teniendo en cuenta los desplazamientos a los que la estructura general de la edificación es propensa a presentar, por lo que se requieren uniones que mantengan la estabilidad estructural cuando se realice el proceso de nivelación gracias al sistema.

Elaboración de un manual de usuario que permita que cualquier persona pueda manipular el sistema mediante una capacitación previa, así como la relación de niveles en las diferentes zapatas aisladas con el fin de mantener la correcta nivelación estructural.

Análisis sísmico del sistema estructural completo de la edificación a desarrollar, ya que es importante conocer la reacción ante este tipo de solicitaciones independientemente de las características del sitio a desarrollar el proyecto.

Estudiar la protección de instalaciones subterráneas convencionales, ya que los hundimientos diferenciales presentados por el fenómeno de subsidencia pueden propiciar desde cambios en la pendiente de evacuación hasta el fracturamiento de la tubería.

Dimensionado especial de zapatas puesto que es posible que la superficie de contacto zapata-subsuelo sea fraccionada por la aparición de una falla en la zona, lo que



107

Ilustración 44. Posible situación de zapatas con aparición de falla que secciona el área de contacto.

propiciaría solicitudes de volteo, así como la inhabilitación de recibir carga en el cimientado señalado.



REFERENCIAS

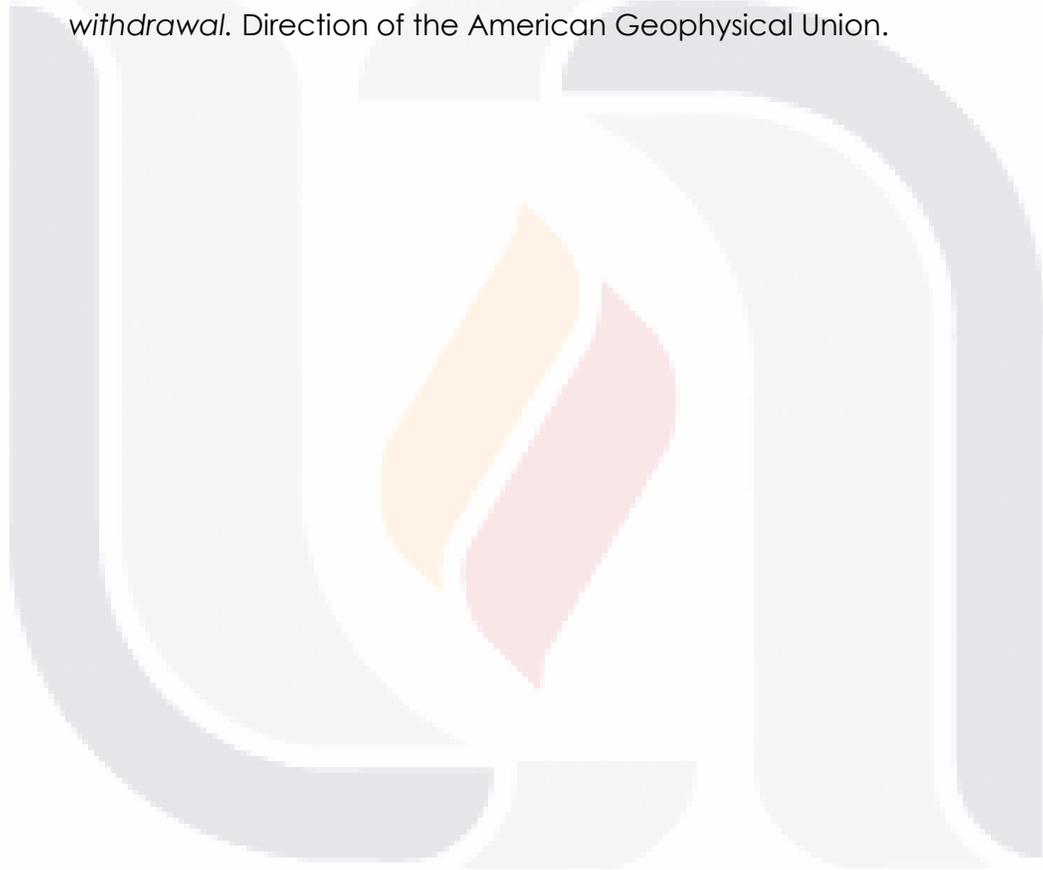
- Araiza Garaygordobil, G. (2011). *Desarrollo y caracterización de un sistema integral de rectificación y control de estructuras de mampostería confinada afectadas por el fenómeno de subsidencia del suelo*. Aguascalientes: UAA.
- Aranda-Gómez, J., & Aranda-Gómez, J. (1985). Análisis del agrietamiento en la ciudad de Aguascalientes. *Universidad Autónoma de Aguascalientes*.
- Galloway, D. L., & Burbey, T. J. (2011). Regional land subsidence accompanying ground water extraction. *Hydrogeology Journal*, 3.
- Genghou, D. (1998). *China Patente n° 6082058*.
- INPRES. (2015). *Sitio oficial del Instituto Nacional de Prevención Sísmica*. Obtenido de <http://www.inpres.gov.ar/docentes/Fallas%20Geol%C3%B3gicas.pdf>
- J., K. L. (1977). *Inglaterra Patente n° 4261548*.
- Jost World. (2018). *Jost World*. Obtenido de <https://www.jost-world.com/de/produkte/>
- M., V. P. (1999). *Holanda Patente n° 6379085*.
- McNulty, E. (2001). *Estados Unidos Patente n° 6464431*.
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de maquinas*. University of Dayton: Pearson, Education.
- Pacheco-Martinez, J., Hernandez-Marin, M., Burbey, T. J.-C., Ortíz-Lozano, J. A., & Zermeño-de-Leon, M. E.-P. (2013). Land subsidence and ground failure associated to groundwater. *Engineering Geology*, 2-5.
- Peng, J. (2016). Characteristics and mechanism of the Longyao ground fissure on North China Plain, China. *Engineering Geology*, 136-146.
- Real Academia Española. (2001). *Diccionario de la lengua española*. Madrid.

Roland, B. (1997). *Estados Unidos Patente n° 6062770*.

SIFAGG. (Julio de 2017). *Sistema de informacion de fallas geologicas y grietas*.
Obtenido de Gobierno de Aguascalientes:
<http://www.aguascalientes.gob.mx/sop/sifagg/web/Documentos/Introduccion.pdf>

Sudbrack, B. (1990). *Francia Patente n° 0457969*.

UNESCO. (1994). *Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal*. Direction of the American Geophysical Union.



TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

ANEXO

A

**INFORMES DE ANÁLISIS ESTÁTICO DE
PROTOTIPOS**

TESIS

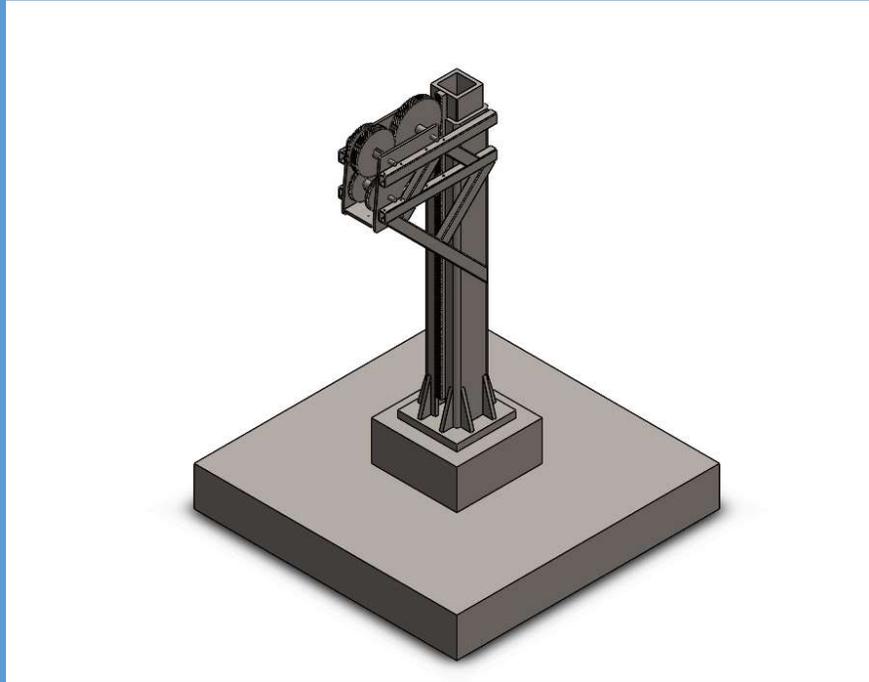
TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

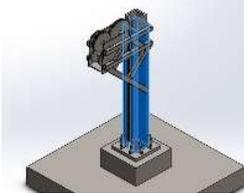
Informe de análisis estático del primer prototipo

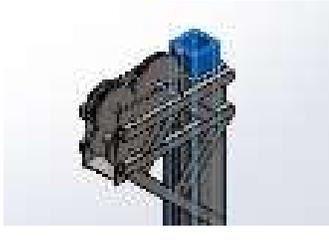
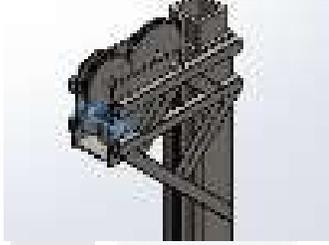


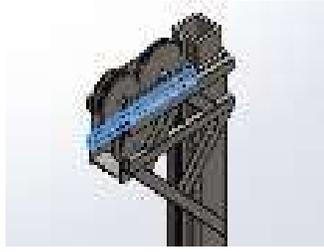
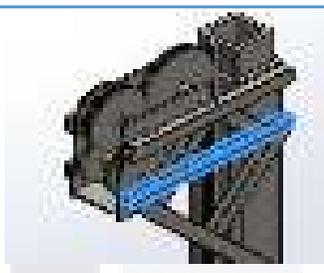
Nombre del modelo: Ensamblaje columna

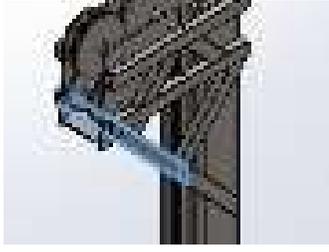
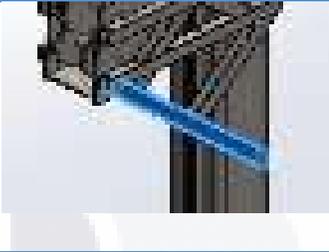
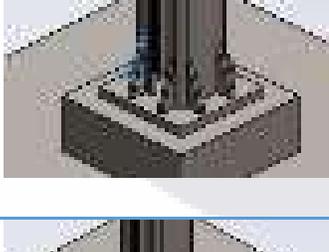
Configuración actual: Predeterminado

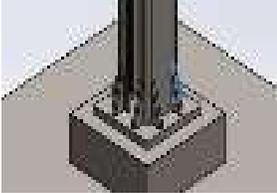
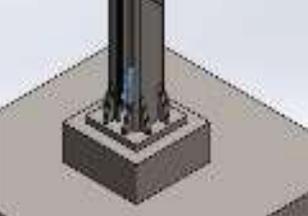
Sólidos

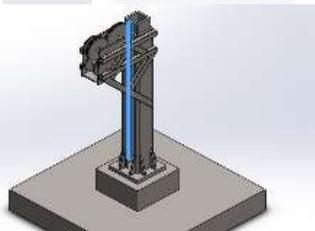
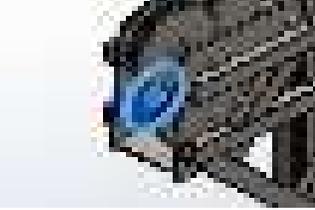
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas
	Sólido	Masa:5.51005 kg Volumen:0.000701917 m ³ Densidad:7850 kg/m ³ Peso:53.9984 N
	Sólido	Masa:322.139 kg Volumen:0.0410369 m ³ Densidad:7850 kg/m ³ Peso:3156.97 N

	Sólido	Masa:283.275 kg Volumen:0.036086 m ³ Densidad:7850 kg/m ³ Peso:2776.1 N
	Sólido	Masa:3.86076 kg Volumen:0.000491817 m ³ Densidad:7850 kg/m ³ Peso:37.8355 N
	Sólido	Masa:3.86076 kg Volumen:0.000491817 m ³ Densidad:7850 kg/m ³ Peso:37.8355 N
	Sólido	Masa:3.86076 kg Volumen:0.000491817 m ³ Densidad:7850 kg/m ³ Peso:37.8355 N
	Sólido	Masa:9.32435 kg Volumen:0.00118782 m ³ Densidad:7850 kg/m ³ Peso:91.3787 N
	Sólido	Masa:9.32435 kg Volumen:0.00118782 m ³ Densidad:7850 kg/m ³ Peso:91.3787 N

	<p>Sólido</p>	<p>Masa:9.32435 kg Volumen:0.00118782 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:91.3787 N</p>
	<p>Sólido</p>	<p>Masa:9.32435 kg Volumen:0.00118782 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:91.3787 N</p>
	<p>Sólido</p>	<p>Masa:2.68398 kg Volumen:0.000341909 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:26.303 N</p>
	<p>Sólido</p>	<p>Masa:2.68398 kg Volumen:0.000341909 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:26.303 N</p>
	<p>Sólido</p>	<p>Masa:2.68398 kg Volumen:0.000341909 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:26.303 N</p>
	<p>Sólido</p>	<p>Masa:2.68398 kg Volumen:0.000341909 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:26.303 N</p>

	<p>Sólido</p>	<p>Masa:11.6664 kg Volumen:0.00148616 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:114.33 N</p>
	<p>Sólido</p>	<p>Masa:11.6664 kg Volumen:0.00148616 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:114.33 N</p>
	<p>Sólido</p>	<p>Masa:5.54649 kg Volumen:0.000706559 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:54.3556 N</p>
	<p>Sólido</p>	<p>Masa:5.54649 kg Volumen:0.000706559 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:54.3556 N</p>
	<p>Sólido</p>	<p>Masa:1.92958 kg Volumen:0.000245806 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:18.9099 N</p>
	<p>Sólido</p>	<p>Masa:1.92958 kg Volumen:0.000245806 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:18.9099 N</p>

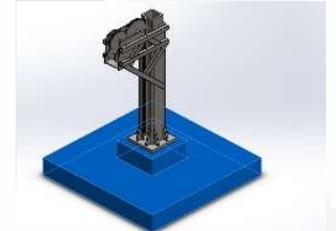
	<p>Sólido</p>	<p>Masa:1.92958 kg Volumen:0.000245806 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:18.9099 N</p>
	<p>Sólido</p>	<p>Masa:1.92958 kg Volumen:0.000245806 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:18.9099 N</p>
	<p>Sólido</p>	<p>Masa:1.92958 kg Volumen:0.000245806 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:18.9099 N</p>
	<p>Sólido</p>	<p>Masa:1.92958 kg Volumen:0.000245806 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:18.9099 N</p>
	<p>Sólido</p>	<p>Masa:1.92958 kg Volumen:0.000245806 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:18.9099 N</p>
	<p>Sólido</p>	<p>Masa:1.92958 kg Volumen:0.000245806 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:18.9099 N</p>

	<p>Sólido</p>	<p>Masa:18.3393 kg Volumen:0.00233621 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:179.725 N</p>
	<p>Sólido</p>	<p>Masa:18.3393 kg Volumen:0.00233621 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:179.725 N</p>
	<p>Sólido</p>	<p>Masa:80.7529 kg Volumen:0.010287 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:791.379 N</p>
<p>TeethCuts</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:30.1173 kg Volumen:0.0038366 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:295.15 N</p>
<p>Keyway</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:6.97662 kg Volumen:0.000888741 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:68.3709 N</p>
<p>Keyway</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:7.17637 kg Volumen:0.000914187 m³ Densidad:7850 kg/m³ Peso:70.3284 N</p>
<p>Keyway</p>	<p>Sólido</p>	<p>Masa:9.77592 kg</p>

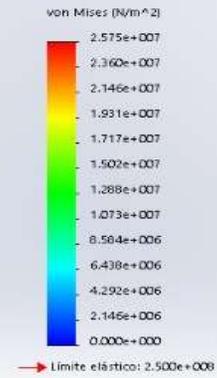
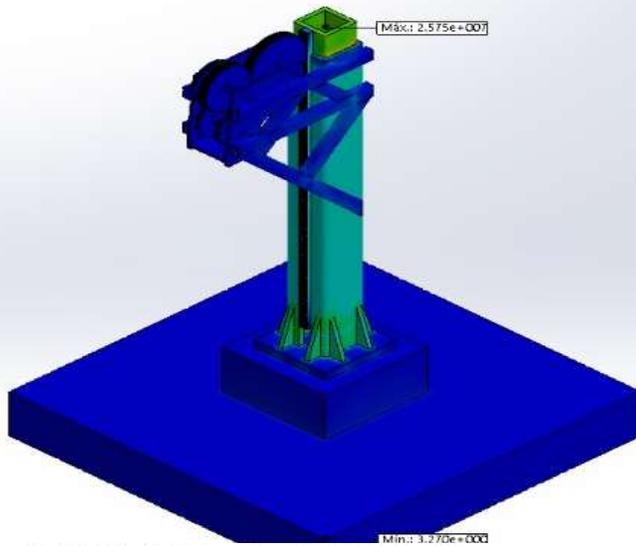
	Volumen:0.00124534 m ³ Densidad:7850 kg/m ³ Peso:95.804 N
---	---

Nombre	Tipo	Sólido	Mín.	Máx.
Ter	Keyway	Tensión de von	0.000e+000 N/m ²	2.575e+007 N/m ²
			2	Densidad:7850 kg/m ³
			Nodo: 85373	Peso:241.637 N
				Nodo: 49253

	Keyway	Sólido	Masa:39.0209 kg Volumen:0.00497082 m ³ Densidad:7850 kg/m ³ Peso:382.405 N
---	--------	--------	---

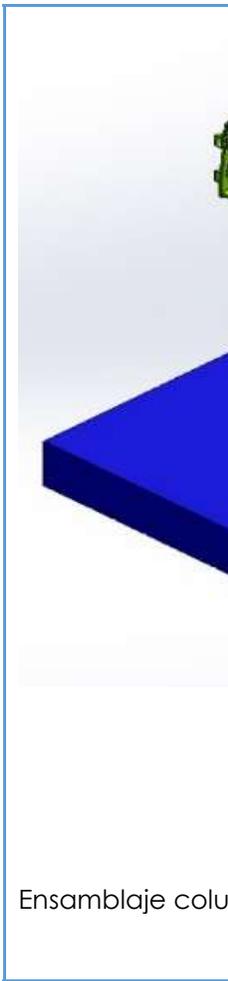
	Saliente-Extruir3	Sólido	Masa:10415 kg Volumen:1.32675 m ³ Densidad:7850 kg/m ³ Peso:102067 N
---	-------------------	--------	---

Ensamblaje columna-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones1



Nombre del modelo: Ensamblaje columna
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 1

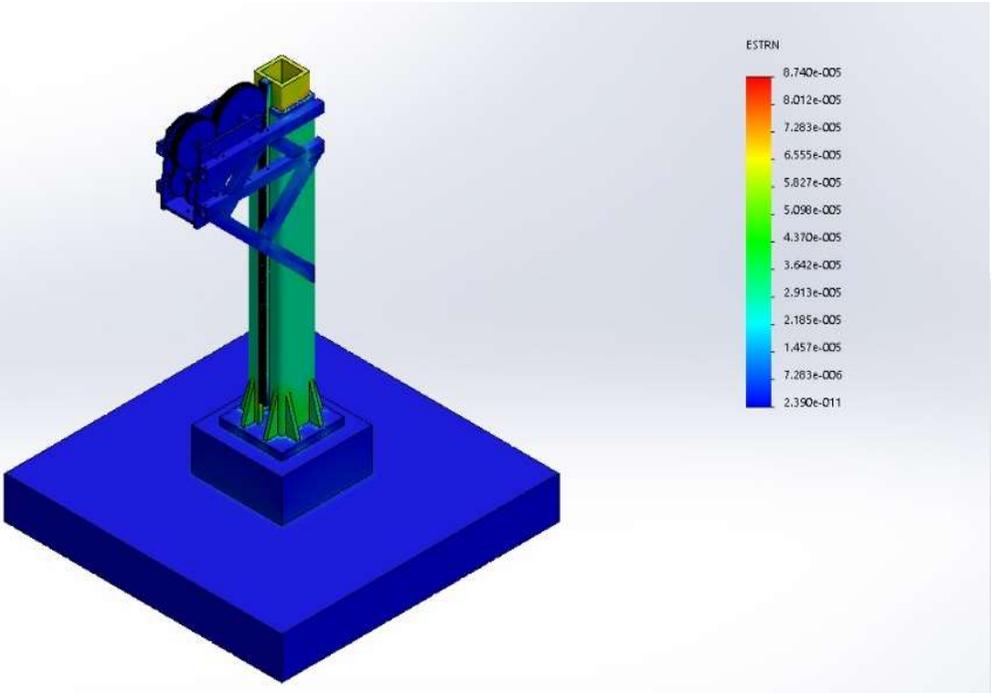
No	Tip	Mí
m	o	n.
br		
e		
Des	URE	0.0
pla	S:	00
za	Des	e+
mie	plaz	00
nto	ami	0
s1	ent	m
	os	m
	resu	No
	ltan	do
	tes	:
		85
		37
		3



Ensamblaje colu

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2.390e-011	8.740e-005
		Elemento: 92461	Elemento: 19007

Ensamblaje columna-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones



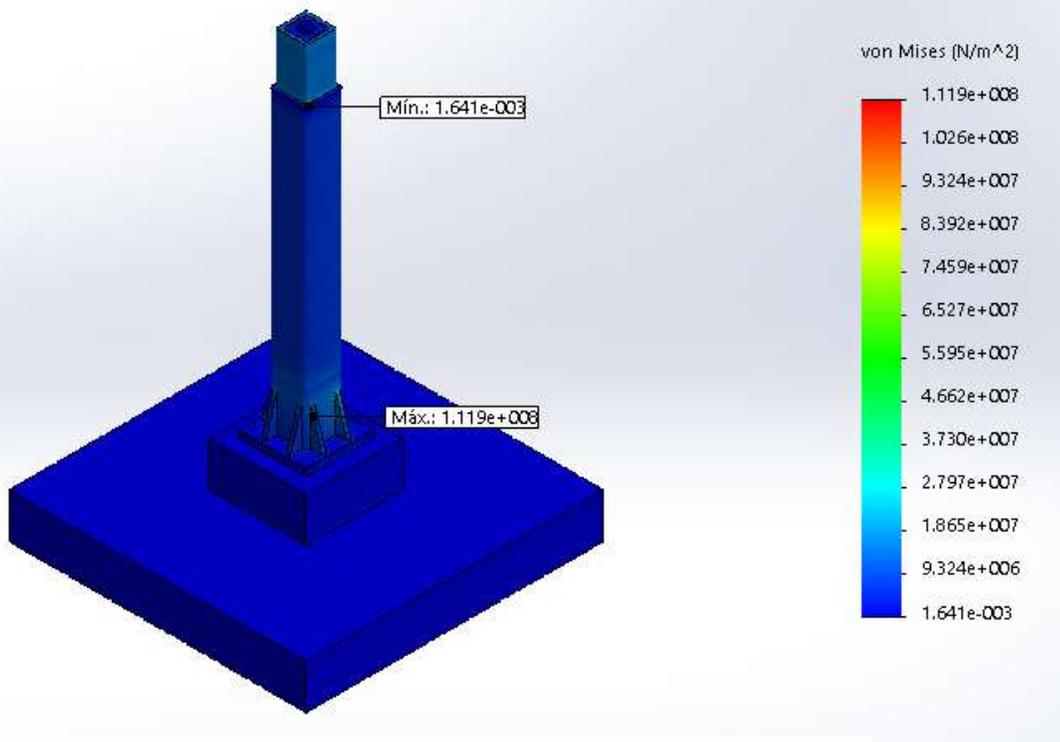
Nombre del modelo: Ensamblaje columna
 Nombre de estudio: Análisis estático 1-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1

unitarias1

Informe de análisis estático del prototipo mejorado.

Nombre	Tipo de analisis	Mín.	Máy.
Tensiones	VON: Tensión de von Mises	1.641e-003N/m ² Nodo: 719485	1.119e+008N/m ² Nodo: 886009

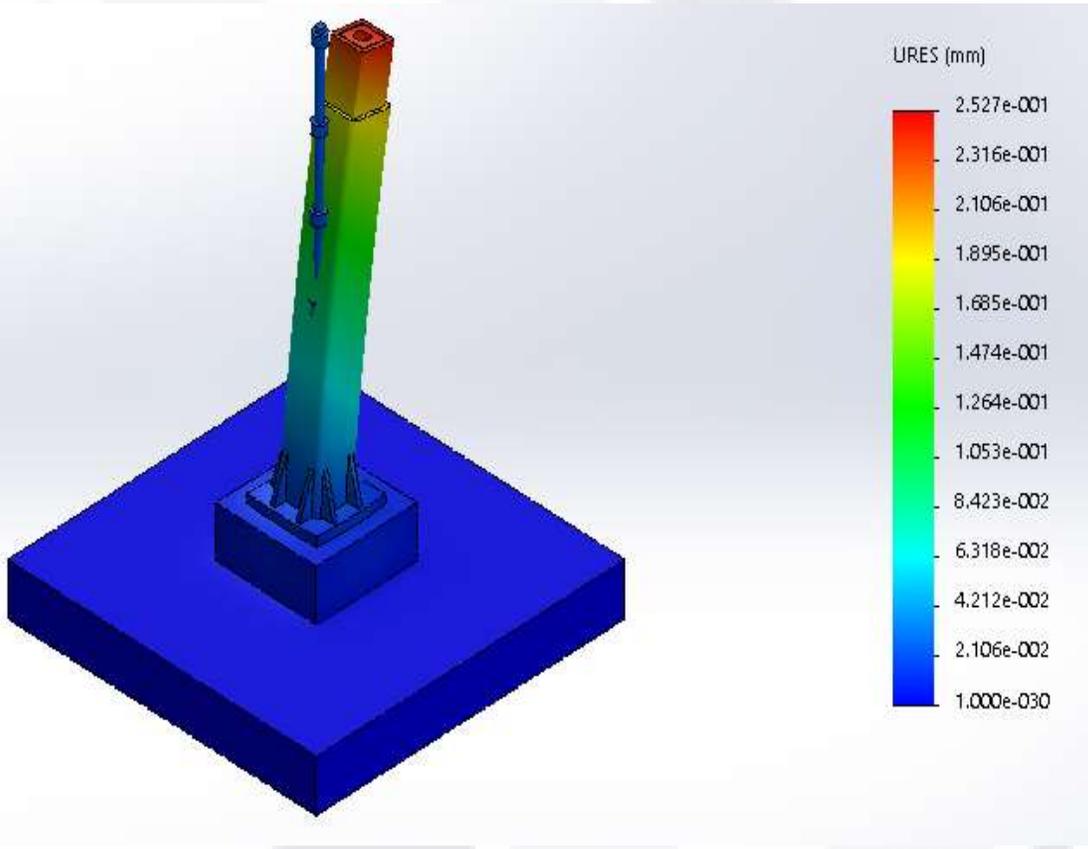
Recuperación automática de Ensamblaje columna-Análisis estático 2-Tensiones-Tensiones1



Nombre del modelo: Recuperación automática de Ensamblaje columna
 Nombre de estudio: Análisis estático 2(- Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 1

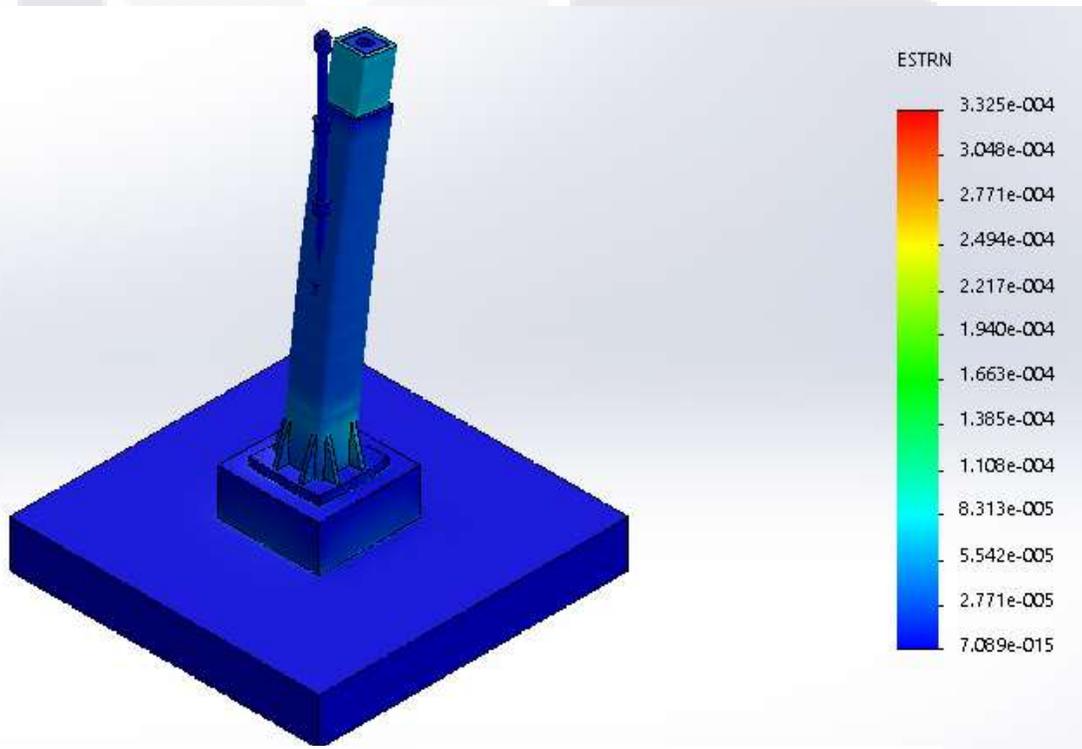
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+000mm Nodo: 894234	2.527e-001mm Nodo: 392208

Recuperación automática de Ensamblaje columna-Análisis estático 2-Desplazamientos-Desplazamientos1

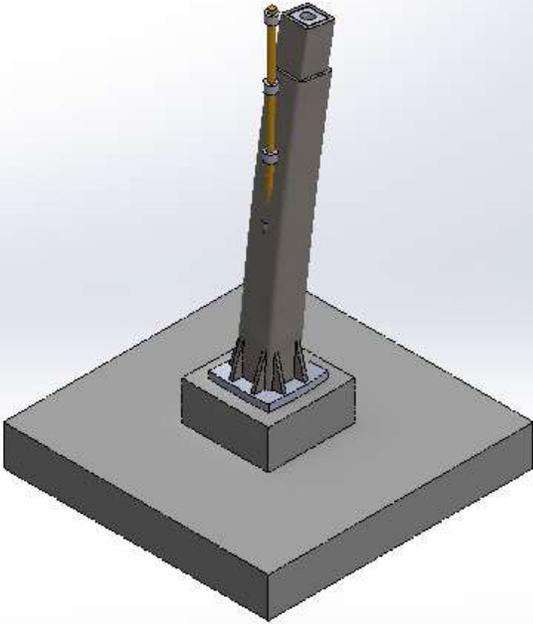


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	7.089e-015	3.325e-004
		Elemento: 486831	Elemento: 559795

Recuperación automática de Ensamblaje columna-Análisis estático 2-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre del modelo: Recuperación automática de Ensamblaje columna
 Nombre de estudio: Análisis estático 2(- Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1450.62

Nombre	Tipo
Desplazamientos1	Deformada
<p data-bbox="358 520 1268 554">Recuperación automática de Ensamblaje columna-Análisis estático 2-</p> <p data-bbox="256 636 1032 747">Nombre del modelo:Recuperación automática de Ensamblaje columna Nombre de estudio:Análisis estático 2(- Predeterminado-) Tipo de resultado: Deformada Desplazamientos1{1} Escala de deformación: 1450.62</p>  <p data-bbox="272 1325 358 1402"></p> <p data-bbox="581 1402 1040 1436">Desplazamientos-Desplazamientos1</p>	

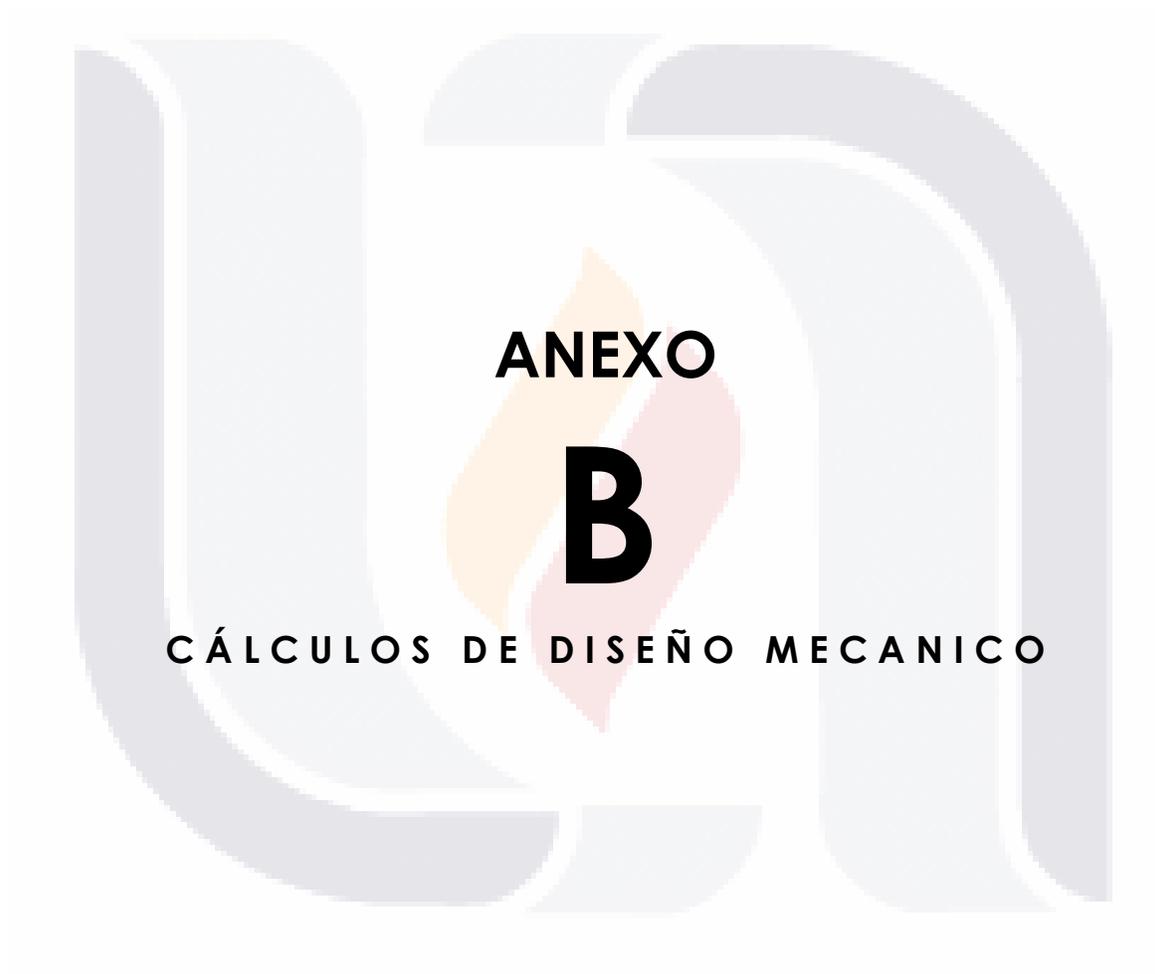
TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS



ANEXO

B

CÁLCULOS DE DISEÑO MECANICO

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

Dimensionado de sistema de tornillo sin fin- engrane, en primer prototipo

Tedata			
Program : MDESIGN	User :	Customer:	
Version : 1.1.2	Date : 04.09.2017	Proj. Nr :	
Wormgearing			
Input data:			
Wormgearing			
Type of the wormgearing		Single-enveloping	
Normal pressure angle		14.5°	
Diametral pitch		Pd = 12	teeth/in
Output power		Po = 84.85	hp
Rotational speed of worm		nw = 20	rpm
Desired rotational speed of wormgear		ng = 0.58	rpm
Number of worm threads		Nw = 3	
Factor of safety		SF = 1	
Overload factor		Ko = 1.1	
Method of casting the bronze		Sand-cast bronzes	
Results			
Actual output speed	nag	=	0.583rpm
Number of the teeth in the gear	Ng	=	103
Ratio of wormgearing	m	=	34.483
Actual wormgearing ratio	ma	=	34.333
Geometry parameters			
Pitch diameter	D	=	<u>Worm</u> 49.378 <u>Wormgear</u> 218.017mm
Circular pitch	p	=	6.650mm
Normal circular pitch	pn	=	6.595mm
Axial pitch	px	=	6.650mm
Center distance	C	=	133.693mm
Lead of a worm	L	=	19.949mm
Lead angle	λ	=	7.328°
Addendum	a	=	2.117mm
Dedendum	b	=	2.449mm
Whole depth	ht	=	4.566mm
Working depth	hk	=	4.233mm
Root diameter	Dr	=	<u>Worm</u> 44.480 <u>Wormgear</u> 213.119mm
Outside diameter of worm	Dow	=	53.611mm

Tedata			
Program : MDESIGN	User :	Customer:	
Version : 1.1.2	Date : 04.09.2017	Proj. Nr :	
Wormgearing			
Throat diameter of gear	Dt	=	222.250mm
Transverse pressure angle	ϕ_t	=	14.614°
Recommended face width of wormgear	Fg	=	20.828mm
Recommended length of the worm	Fw	=	60.760mm
			<u>Worm</u> <u>Wormgear</u>
Pitch line speed	Vt	=	10.179 1.303ft/min
Sliding velocity	Vs	=	10.263 10.218ft/min
<u>Force parameters and coefficients</u>			
Coefficient of friction	μ	=	0.087
Output torque	T0	=	9.177e+006lbf.in
			<u>Tangential</u> <u>Axial</u> <u>Radial</u>
Force on the wormgear	Wg	=	9.511e+006@1.105e+006@2.530e+006 N
Force on the worm	Ww	=	4.733e+006@1.138e+006@6.687e+005 lbf
Friction force	Wf	=	1.943e+005lbf
Power loss due to friction	Pl	=	60.433hp
Input power	Pi	=	145.283hp
Efficiency	η	=	58.403%
<u>Bending Stress</u>			
Dynamic factor	Kv	=	0.999
Lewis form factor	Y	=	0.100
Bending stress in the gear teeth	σ	=	1.005e+008psi
Dynamic load	Wd	=	2.141e+006lbf
Note			
Use cast iron for gear material. Use approximately 0.35 times the ultimate strength, unless specific data are available for fatigue strength.			
<u>Surface Durability</u>			
Material factor	Cs	=	744.707
Effective face width	Fe	=	0.820in
Ratio correction factor	Cm	=	0.821
Velocity factor	Cv	=	0.652
Rated tangential force	Wtr	=	1658.496lbf
Note			
Because the rated tangential force is smaller than the tangential load - surface durability of hardened steel worm operating with bronze gear is not good. So for satisfactory life of drive you should decrease sliding velocity, increase pitch diameters, increase face width of gear.			

Dimensionado de sistema de engranajes perpendiculares en

Tedata			
Program : MDESIGN	User :	Customer:	
Version : 1.1.2	Date : 14.06.2018	Proj. Nr :	
Bevel Gearing			
<u>Input data:</u>			
Bevel Gearing			
Pressure angle		20°	
Diametral pitch		Pd = 18	teeth/in
Transmitted power		P = 3	hp
Rotational speed of pinion		np = 10	rpm
Number of pinion teeth		Np = 23	
Desired output speed		ng = 4	rpm
Design life		L = 20000	h
Number of load applications per revolution		q = 1	
Elastic coefficient		Cp = 2300	
Overload factor		Ko = 2	
Load-distribution factor		Km = 1.8	
Factor of safety		SF = 1	
Hardness ratio factor		Ch = 1	
Reliability factor		Kr = 1.5	
<u>Result</u>			
Actual output speed	ng	=	4.035 rpm
Actual number of gear teeth	Ng	=	57
Gear ratio	mg	=	2.478
Quality number	Qv	=	7.000
<u>Geometry parameters</u>			
Pitch diameter	D	=	<u>Pinion</u> 1.278 <u>Gear</u> 3.167 in
Pitch cone angle	γ	=	21.975 68.025 °
Outer cone distance	A0	=	1.707 in
Face width	F	=	0.512 in
Mean cone distance	Am	=	1.451 in
Mean circular pitch	Pm	=	0.148 in
Mean working depth	h	=	0.094 in
Clearance	c	=	0.012 in
Mean whole depth	hm	=	0.106 in
Mean addendum factor	cl	=	0.257 in
Mean addendum	a	=	<u>Pinion</u> 0.070 <u>Gear</u> 0.024 in

prototipo mejorado.

Tedata				
Program : MDESIGN	User :	Customer :		
Version : 1.1.2	Date : 14.06.2018	Proj. Nr :		
Bevel Gearing				
Mean dedendum	b	=	0.036	0.082 in
Dedendum angle	δ	=	1.425	3.232 °
Outer addendum	ao	=	0.085	0.031 in
Outside diameter	do	=	1.435	3.190 in
Bending geometry factor	J	=	0.255	0.217
Pitting geometry factor	I	=	0.085	
<u>Force and speed factors</u>				
Torque on the pinion	TP	=	18900.000 lbf.in	
Forces on the pinion	W	=	<u>Tang., Wr Radial, Wr Axial, Wx</u> = 34800.527 11746.151 4739.675 lbf	
Pitch line speed	vt	=	3.345 ft/min.	
Dynamic factor	Kv	=	0.986	
Size factor	Ks	=	1.000	
Number of load cycle	Nc	=	<u>Pinion</u> 1.2e+007	<u>Gear</u> 4.8e+006
Bending stress cycle factor	Yn	=	1.014	1.013
Pitting stress cycle factor	Zn	=	0.996	1.041
Expected bending stress	St	=	1.493e+007	1.752e+007 psi
Expected contact stress	Sc	=	2.037e+006	2.037e+006 psi
Allowable bending stress number	Sat	=	2.207e+007	2.594e+007 psi
Allowable contact stress number	Sac	=	3.069e+006	2.934e+006 psi
Note				
After computing the values for allowable bending stress number and for allowable contact stress number, you should go to the data in AGMA Standard 2001-C95, to select a suitable material. Consider first whether the material should be steel, cast iron, bronze, or plastic. Then consult the related tables of data.				
<u>For instance use through-hardened steel with hardness, HB</u>				
			<u>Pinion</u> 2.854e+005	<u>Gear</u> 3.355e+005
Grade 1	=		2.162e+005	2.542e+005
Grade 2	=			
Note				
For this type of steel the hardness can not be more then 400 HB.				