

Revista Chilena de INGENIERIA

ISSN 0370 - 4009 - N° 488 - Diciembre 2019



Anales del Instituto de Ingenieros

Vol. 131, N° 3 - ISSN 0716 - 2340

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Fundado en 1888

Miembro de la Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros (UPADI)
Miembro de la Federación Mundial de Organización de Ingenieros (FMOI) (WFEO)
Miembro de la American Society of Civil Engineers (ASCE)

JUNTA EJECUTIVA

Presidente

Luis Nario Matus

Primer Vicepresidente

Carlos Mercado Herreros

Segundo Vicepresidente

Ricardo Nicolau del Roure

Tesorero

Juan Carlos Barros Monge

Protesorero

Iván Álvarez Valdés

Secretaria

Ximena Vargas Mesa

Prosecretaria

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

DIRECTORIO 2019

Iván Álvarez Valdés

Elías Arze Cyr

Marcial Baeza Setz

Juan Carlos Barros Monge

Sally Bendersky Schachner

Juan E. Cannobbio Salas

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

Alex Chechilnitzky Zwicky

Raúl Demangel Castro

Álvaro Fischer Abeliuk

Andrés Fuentes Torres

Javier García Monge

Roberto Fuenzalida González

Tomás Guendelman Bedrack

Diego Hernández Cabrera

Carlos Mercado Herreros

Germán Millán Valdés

Rodrigo Muñoz Pereira

Ricardo Nanjarí Román

Luis Nario Matus

Ricardo Nicolau del Roure G.

Humberto Peña Torrealba

Miguel Ropert Dokmanovic

Manuel Ruz Jorquera

Mauricio Sarrazin Arellano

Alejandro Steiner Tichauer

Ximena Vargas Mesa

Luis Valenzuela Palomo

René Vásquez Canales

Jorge Yutronic Fernández

Secretario General

Carlos Gauthier Thomas

SOCIEDADES ACADÉMICAS MIEMBROS DEL INSTITUTO

ASOCIACIÓN CHILENA
DE SISMOLOGÍA E INGENIERÍA
ANTISÍSMICA, **ACHISINA**.

Presidente: Rodolfo Saragoni H.

ASOCIACIÓN INTERAMERICANA
DE INGENIERÍA SANITARIA
Y AMBIENTAL - CAPÍTULO
CHILENO, **AIDIS**.

Presidente: Alexander Chechilnitzky Z.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA
HIDRÁULICA, **SOCHID**.

Presidente: José Vargas B.

SOCIEDAD CHILENA
DE GEOTECNIA, **SOCHIGE**.

Presidenta: Daniela Pollak A.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA
DE TRANSPORTE, **SOCHITRAN**.

Presidente: Juan Carlos Herrera M.

PMI SANTIAGO CHILE CHAPTER.

Presidente: Alfonso Barraza San M.

SOCIEDAD CHILENA DE EDUCACIÓN
EN INGENIERÍA, **SOCHEDI**.

Presidente: Mario Letelier S.

COMISIONES DEL INSTITUTO

*Electromovilidad, oportunidades
para la Ingeniería Chilena.*

Presidente: Javier García M.

Ingeniería y Ética.

Presidente: Elías Arze C.

Ingenieros en la Historia Presente.

Presidente: Ricardo Nanjarí R.

Ingeniería y Ciencias de la Vida.

Presidente: Alejandro Steiner T.

Prospectivas de la Ingeniería.

Presidente: Jorge Yutronic F.

Visión del Negocio del Cobre.

Presidente: Andrés Fuentes T.

CONSEJO CONSULTIVO

Raquel Alfaro Fernandois

Elías Arze Cyr

Marcial Baeza Setz

Juan Carlos Barros Monge

Bruno Behn Theune

Sergio Bitar Chacra

Mateo Budinich Diez

Juan Enrique Castro Cannobbio

Jorge Cauas Lama

Joaquín Cordua Sommer

Luis Court Moock

Alex Chechilnitzky Zwicky

Raúl Espinosa Wellmann

Álvaro Fischer Abeliuk

Roberto Fuenzalida González

Tristán Gálvez Escuti

Alejandro Gómez Arenal

Tomás Guendelman Bedrack

Diego Hernández Cabrera

Jaime Illanes Piedrabuena

Agustín León Tapia

Jorge López Bain

Jorge Mardones Acevedo

Carlos Mercado Herreros

Germán Millán Pérez

Guillermo Noguera Larraín

Luis Pinilla Bañados

Rodolfo Saragoni Huerta

Mauricio Sarrazin Arellano

Raúl Uribe Sawada

Luis Valenzuela Palomo

Solano Vega Vischi

Hans Weber Münnich

Andrés Weintraub Pohorille

Jorge Yutronic Fernández



Nuestra portada

Como cada año, el Instituto de Ingenieros de Chile hace entrega de sus Premios a ingenieros destacados. El premio más antiguo, la “Medalla de Oro”, el más importante galardón para un ingeniero civil en Chile. “Al Ingeniero por Acciones Distinguidas”, que premia a la acción destacada. Al mejor Trabajo Científico, y a la dedicación y trabajo en la enseñanza de la Ingeniería, y los premios a los egresados, constituyen una honrosa distinción para quienes los reciben. Felicitaciones a todos.

REVISTA CHILENA DE INGENIERÍA N° 488, diciembre de 2019

Dirección: San Martín N° 352, Santiago
Teléfonos: 22696 8647 - 22698 4028 - 22672 6997
www.iing.cl • e-mail: iing@iing.cl

DIRECTOR

Raúl Uribe S.

CONSEJO EDITORIAL

Álvaro Fischer A.
Roberto Fuenzalida G.
Tomás Guendelman B.
Jaime Illanes P.
Germán Millán P.
Mauricio Sarrazin A.

REPRESENTANTE LEGAL

Luis Nario Matus
Dirección: San Martín N° 352, Santiago

SECRETARIO GENERAL

Carlos Gauthier T.

SECRETARÍA

Patricia Núñez G.

DIAGRAMACIÓN E IMPRESIÓN

versión productora gráfica SpA

EDITORIAL. Pág. 2

**EL IMPACTO DE LA INTELIGENCIA
ARTIFICIAL EN LA VIDA MODERNA.
UNA ESTRATEGIA PARA CHILE.** Pág. 3

Conferencia del Sr. José Rodríguez Pérez,
Ex Rector de la Universidad UTFSM y de
la Universidad Andrés Bello.

**PREMIO
“MEDALLA DE ORO - AÑO 2019”.** Pág. 21
Al Sr. Jorge Yutronic Fernández.

**PREMIO
“AL INGENIERO POR ACCIONES
DISTINGUIDAS - AÑO 2019”.** Pág. 32
Al Sr. Alfredo Moreno Charme.

**PREMIO
“RAÚL DEVÉS JULLIAN - AÑO 2019”.** Pág. 38
Al Sr. Aldo Cipriano Zamorano.

**PREMIO
“RAMÓN SALAS EDWARDS - AÑO 2019”.** Pág. 45
Al trabajo: “DART: Solución de
Inteligencia Artificial para la Prevención
de la Ceguera”.

**PREMIO A LOS ALUMNOS
DESTACADOS DE INGENIERÍA CIVIL -
AÑO 2019.** Pág. 50

- Marcos Orrego Puelma.
- Ismael Valdés Valdés.
- Roberto Ovalle Aguirre.

A INGENIEROS DESTACADOS Pág. 54

- Sra. Sally Bendersky Schachner.
- Sr. Mauricio Sarrazin Arellano.

Comisión de Ingenieros en la Historia
Presente.
Presidente: Ricardo Nanjarí R.

**RECONOCIMIENTO A NUESTROS
SOCIOS.** Pág. 58

Don José Rodríguez Pérez, Ex Rector de la UTFSM y de la Universidad Andrés Bello, dictó una conferencia en el Club de la Unión, titulada “El Impacto de la Inteligencia Artificial en la Vida Moderna. Una Estrategia para Chile”. La presentación versó acerca del rol que la Inteligencia Artificial (IA), a las redes neuronales y los microprocesadores están teniendo en la vida actual, mostrando de paso las diferencias y similitudes entre la Inteligencia Artificial y la Inteligencia Humana. Explicó cómo de ello surgen el *machine learning*, y el *Big Data*, donde se concentra el poder de la IA. Faltan aún desarrollos por venir, tales como razonar, comprender ideas, crear, emoción, sentido común, sentido práctico que, en su opinión, no han sido atacados aún, porque no lo hemos necesitado. Es cuestión de tiempo y de necesidad.

El señor Rodríguez se refirió luego a las más diversas aplicaciones de la IA en el mundo real: medicina, comercio, banca, transacciones de todo tipo, transporte urbano, Proceso de Modernización del Estado, educación, etc., concluyendo con el detalle de su Proyecto País, enfatizando en los impactos positivos de la IA, sintetizado en la creación de una industria enfocada en la tecnología de la información y en automatización.

En otro ámbito, este último trimestre del año 2019 se otorgaron los premios institucionales, con que el Instituto destaca a notables ingenieros chilenos y a estudiantes egresados y titulados de las Universidades asociadas al Instituto: Universidad de Chile, Católica de Chile, de Santiago, Técnica Federico Santa María, de Concepción, Diego Portales y Católica de Valparaíso.

Especial mención recibe el premio “Medalla de Oro - Año 2019”, máximo galardón de la ingeniería chilena, conferido en esta oportunidad al destacado ingeniero electricista de la Universidad de Chile don Jorge Yutronic Fernández, Ex Presidente del Instituto de Ingenieros de Chile (2002-2003) quien, en su vida laboral, ha ocupado importantes cargos académicos y profesionales en el país, sumados a numerosas asesorías internacionales en el extranjero.

Por su parte, el Ingeniero Sr. Alfredo Moreno Charme fue galardonado con el premio “Al Ingeniero por Acciones Distinguidas - Año 2019”, que se otorga al Ingeniero que se hubiere destacado por haber desarrollado acciones especialmente meritorias, en el campo público o privado, durante los tres años anteriores a los de su otorgamiento.

El premio “Ramón Salas Edwards - Año 2019” les fue conferido a los Ingenieros Sres. José Tomás Arenas, Ignacio Abarca, Fernando Bernuy, Maximiliano Rojas, Matías Peralta, Tomás Perry, Mariano Pola y Rodrigo Donoso, por su trabajo “DART: Solución de Inteligencia Artificial para la Prevención de la Ceguera”. Este Premio fue instituido para destacar el mejor trabajo científico o tecnológico relacionado con la Ingeniería. Se otorga cada año a la persona o grupo que, en conjunto, hayan elaborado y publicado ese trabajo en los cinco años anteriores a su otorgamiento.

El premio “Raúl Devés Jullian - Año 2019”, que honra la memoria de ese destacadísimo hombre público e ingeniero, don Raúl Devés Jullian, recayó en la persona de don Aldo Cipriano Zamorano, destacado por su destacado desempeño en la enseñanza de la Ingeniería en Chile.

Como el fin de preservar la historia de ingenieros destacados y de la Ingeniería, la Comisión de Ingenieros en la Historia Presente presenta, en esta ocasión, sendos extractos de las entrevistas realizadas a la Ingeniera Sally Bendersky Schachner y el Ingeniero Mauricio Sarrazín Arellano. Estas entrevistas, como las que se hagan en el futuro, serán objeto de una publicación especial.

Mención especial y dedicada, al reconocimiento de todos nuestros Socios que con su aporte hacen que cada año el Instituto de Ingenieros de Chile desarrolle sus Planes de Trabajo y diversas actividades que promueven la excelencia de la ingeniería y su contribución al desarrollo del país.

“EL IMPACTO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA VIDA MODERNA. UNA ESTRATEGIA PARA CHILE”

Conferencia del Sr. José Rodríguez Pérez, Ex Rector de la UTFSM y de la Universidad Andrés Bello



Don José Rodríguez durante su exposición.

Ante una concurrida asistencia de personalidades del ámbito público y privado, se realizó en el Club de la Unión el pasado martes 27 de agosto de 2019, la conferencia del Sr. José Rodríguez Pérez, Ex Rector de la UTFSM y de la Universidad Andrés Bello, quien expuso sobre el tema: “El Impacto de la Inteligencia Artificial en la Vida Moderna. Una Estrategia para Chile”.

Don José Rodríguez Pérez, es Ingeniero Civil Electricista y Doctor en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Erlanger, Alemania. Miembro de Número de la Academia de Ingeniería de Chile, y Premio Nacional de Ciencias Aplicadas y Tecnológicas, año 2014.

Sus áreas de trabajo son: Electrónica de Potencia, Accionamientos Eléctricos y Máquinas Eléctricas.

En el año 2014, Thompson Reuters lo incluyó en la lista de “Highly Cited Research 2014”, que honra a los investigadores científicos más influyentes del mundo, siendo el único chileno en pertenecer a este grupo. Entró en la categoría de los 200 investigadores más citados a nivel mundial.

Sr. José Rodríguez P.

—Quiero dar las gracias por la invitación, ya que me siento muy honrado de estar aquí. Como soy medio “huasteco”, de provincia, entonces, estar en este edificio tan bonito dirigiéndome a ustedes realmente es algo que me emociona y me siento muy privilegiado y les doy las gracias por estar acá.

Lo que les presentaré es una reflexión que me ha tocado desarrollar en el último tiempo en torno a la Inteligencia Artificial y en la invitación se dice: “Una Estrategia para Chile”, pero la verdad es que no voy a presentar la estrategia, lo que voy a hacer es un llamado al Gobierno para que haga una Estrategia País, porque no la tenemos.

La presentación se divide en dos partes. Primero quiero mostrar un poco los avances e impacto de la Inteligencia Artificial y después quiero hablar un poco de qué es, de manera muy simple, de las redes neuronales y los microprocesadores. Esto es algo que cuando lo vi quedé alucinado y lo quiero compartir con ustedes. Luego las diferencias y similitudes entre la Inteligencia Artificial y la Inteligencia Humana.

Y después algo que también quiero compartir con ustedes, que es lo que conocemos como el juego ciencia, el ajedrez, qué es lo que está pasando y que es lo que ha pasado.

Luego voy a ir a la Aplicación y los Desafíos.

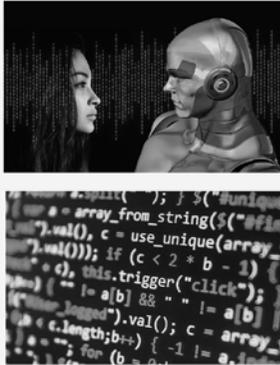
Por otro lado, les cuento que estaba en un Comité desde marzo de este año, mandatado por el Congreso, para que trabajemos proponiéndole al Gobierno que haga una Estrategia País en esta materia. Entonces, lo que hicimos fue revisar qué es lo que han hecho otros países y qué es lo que tenemos en Chile y vamos a aclarar por qué necesitamos una estrategia país y por ello la propuesta es muy simple pedirle al Gobierno que la haga. El Presidente recogió el desafío y está trabajando en esto.

¿Qué es la Inteligencia Artificial? (Figura 1).

Es Inteligencia creada de manera artificial, no por la naturaleza; es creada por el hombre, las máquinas por ejemplo y algo para ser bien concreto es software, son programas informáticos que en el último tiempo han demostrado que tienen la capacidad de aprendizaje automático.

Y como buen ingeniero electricista no puedo de dejar de mencionar que el elemento habilitante en todo este tema es el microprocesador, creado ya hace varios años; más de 4 décadas, el año 71 (Figura 2).

Qué es la Inteligencia Artificial (IA)?



- Es inteligencia creada de manera artificial, no por la naturaleza
- Es creada por el hombre en máquinas
- Es software
- Son programas informáticos
- Que tienen la capacidad de aprendizaje automático

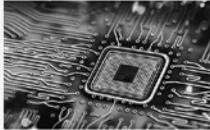
Figura 1

La tecnología habilitante: el microprocesador (μ P)

Es la componente central en todo computador, celular, etc... es hardware



- El Intel 4004
- El primer microprocesador creado en 1971



- Hoy los μ P tienen millones de transistores
- Operan a frecuencias mayores a 3Ghz

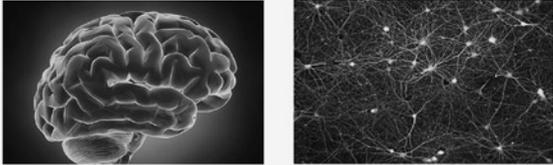
➔ Realizan muchísimos cálculos que para el ser humano son prácticamente instantáneos

Figura 1

Y este microprocesador evolucionó a lo largo de los años; los microprocesadores que hoy día tienen millones de transistores, operan a frecuencias de 3.000 Mega Hertz, más o menos, y tienen la siguiente particularidad, realizan muchos cálculos, muchos procesos, tan rápidos, que para la vista humana, son instantáneos. Es una cuestión muy relevante para que podamos entender después el alcance de ello.

Cuando me hablaron del cerebro, quedé alucinado con esta cuestión y tengo que rendirle el crédito a mi colega Pedro Maldonado, el neurocientífico que mostró esta imagen. El cerebro humano, en mi opinión, es una maravilla de evolución, tiene miles de años de evolución, 86 mil millones de neuronas y todos esos **fantastillones** de conexiones entre las neuronas (Figura 3).

El cerebro humano



- Miles de años de evolución
- 86.000.000.000 de neuronas
- 602.000.000.000.000 de conexiones

Fuente: "Inteligencia artificial y cerebro humano: el impacto de sus similitudes y diferencias". Pedro Maldonado. Congreso Futuro, 2019.

Figura 3

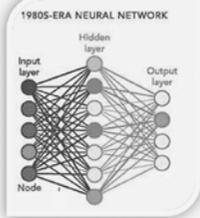
Se muestra un corte del cerebro de un animal vivo, no necesariamente de un ser humano, donde se puede apreciar lo esencial del cerebro que son esos puntitos con más luz y las conexiones.

Entonces, se definieron dos elementos esenciales: las neuronas y las conexiones entre ellas, que es lo que hace el cerebro humano.

Luego, en mi opinión una genialidad (Figura 4).

Una genialidad: La red neuronal artificial

Fuente: Pedro Maldonado. Congreso Futuro, 2019



- Es un modelo computacional inspirado en las neuronas (nodos) y sus conexiones
- Transmiten señales (información)
- Se han desarrollado por aproximadamente 50 años

Figura 4

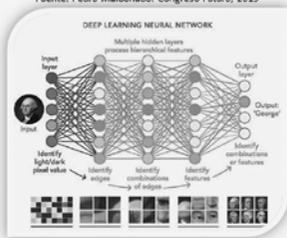
Hace aproximadamente 50 años, algunos ciudadanos empezaron a hacer una **red neuronal** que era un Programa con líneas de computador donde definían unos puntos, unas capas

de entrada y salida, que bajo ciertas condiciones permitían que la señal pasara a otra capa y llegara a la salida. Y esto es como una imitación, ya que fue inspirado por lo que observó de una neurona, por eso le llamaron **red neuronal**. Este es un modelo computacional, inspirado en las neuronas que tenían los nodos y las conexiones y permitían transmitir una señal en el cerebro, que se propaga mediante impulsos eléctricos, desde la entrada hasta la salida. Y esto ha tenido un desarrollo de aproximadamente 50 años.

Ahora, la típica investigación que surge por curiosidad (Figura 5).

Las redes neuronales de aprendizaje profundo

Fuente: Pedro Maldonado. Congreso Futuro, 2019



- Inspiradas en conexiones entre neuronas colindantes
- Imitan mejor el aprendizaje humano basado en la experiencia
- Modifican las fuerzas de las conexiones a partir de la experiencia del mismo computador
- Van aprendiendo... machine learning

Figura 5

Posteriormente algo que encuentro importante, que son las **redes neuronales de aprendizaje profundo**, que inspiradas en todas las conexiones que existen entre las neuronas colindantes en el cerebro, ponen más capas que se interconectan todas entre ellas y después las conexiones que por su importancia o su peso van cambiando en base a la experiencia que va adquiriendo el mismo programa. Que dice: “¡Oh! Estoy operando mejor” y si se trata de reconocer una imagen, por ejemplo, en la medida que se reconoce que está más nítida, estoy aprendiendo bien. Para que se hagan una idea intuitiva de cómo opera.

Como me decía este colega, esta construcción humana de los ingenieros informáticos, es una imitación bien básica del cerebro humano, bien limitada. Pese a lo limitado que es, les voy a mostrar algunas cosas que ya se pueden hacer.

Es así como, producto de todo esto, apareció una especialidad de la informática, que se llama el *machine learning* (Figura 6).



Figura 6

El *machine learning* es la clave de la Inteligencia Artificial porque es una rama que desarrolla algoritmos que permiten que los computadores aprendan.

Y esa es una cuestión muy relevante hoy día. Entonces, se dice que aprenden cuando su desempeño mejora con la experiencia. Inferen conocimientos a partir de muestras de datos.

Y aquí aparece la otra clave del mundo de hoy día que son los datos, la *Big Data* aquí está (Figura 7).



Figura 7

Y eso permite aprender de estas construcciones de los ingenieros. Y la *Big Data* es como se llama a la fuente, ahí está el poder de la Inteligencia Artificial, lograr procesar datos más

masivos de diferente tipo: textos, imágenes, audios, videos. Y sobre todo hoy día donde a través de las redes sociales, todos los jóvenes están interconectados, todos comparten su información, en *Facebook* son 2 mil millones de usuarios. Todo el mundo anda conectado hoy día, entregándose información. Hay miles de millones de datos disponibles. Entonces aparece una nueva rama del conocimiento que es procesar esa Data. Para qué vamos a hablar de los sensores, la internet de las cosas que hace que más datos estén disponibles en la red.

La potencia es que a partir de los datos se infieren patrones de comportamiento y eso ha creado una nueva profesión, que son los científicos de datos y que son muy demandados, por lo demás.

Lo siguiente, lo encuentro relevante (Figura 8).

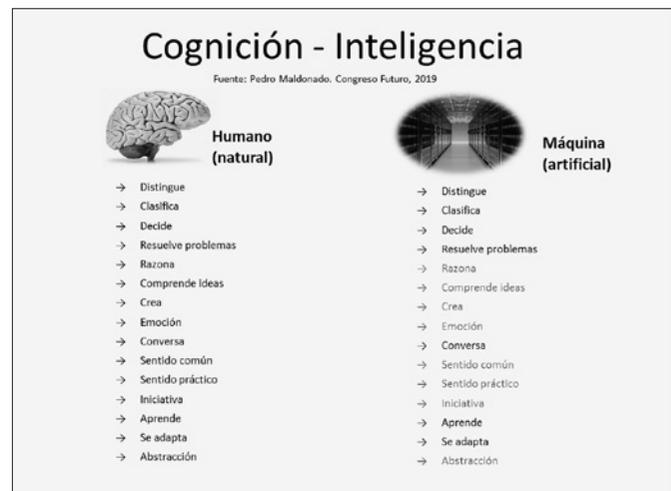


Figura 8

Neurocientíficos trabajaron para definir bien qué es la Inteligencia o la cognición, como lo llaman ellos. El cerebro humano distingue, clasifica, decide resuelve problemas, razona, comprende ideas, crea, tiene emoción, conversa, sentido común, sentido práctico, iniciativa, aprende, se adapta, abstracción.

Es importante señalarlo, para que lo comparemos con lo que pueden hacer las máquinas hoy día. En negrita está lo que ya pueden hacer las máquinas: distingue, clasifica, decide, resuelve problemas, conversa, aprende, se adapta. Es impresionante escuchar un diálogo de dos computadores que es como si fuera conversación de dos personas.

Le faltan si otras cosas, como razonar, comprender ideas, crear, emoción, sentido común, sentido práctico. Creo que le

faltan simplemente porque, hasta el momento, no lo hemos necesitado. Pero si el día de mañana, si el ser humano necesita hacerlo, trabajando también se puede lograr. Es cuestión de tiempo y de necesidad; todavía no lo hemos necesitado.

Quiero darles un ejemplo muy concreto con el ajedrez (Figura 9).

El ajedrez



- El deporte ciencia
- Asociado como ningún otro juego a la idea de inteligencia humana
- El GO cae en esta categoría



- Año 1997
- Deep Blue de IBM derrota al campeón mundial Garry Kasparov
- El match que cambió la historia

Figura 9

Todos sabemos que se llama el deporte ciencia y como ninguna otra actividad deportiva, este juego está asociada a la inteligencia humana. Me han dicho que en Asia hay un juego que se llama el Go, que también es como el ajedrez que representa la inteligencia humana mejor que nadie.

Hace 22 años, el año 97, el mundo pudo observar una disputa, un match entre Gary Kasparov, el mejor ajedrecista de la historia, que es un titán, y el computador IBM, el Deep Blue y el computador le ganó a Gary Kasparov. Esa fue la sensación hace 22 años y ya nos olvidamos de eso.

Ahora, ¿cómo entrenan los campeones? (Figura 10).

El campeón mundial actualmente es este joven, tiene como 23 años, es un noruego llamado Magnus Carlsen, que causó sensación hace como 10 años cuando tenía 12 años y se enfrentó a Gary Kasparov, un niño chico, que no se podía concentrar. Y el campeón mundial se agarraba la cabeza tratando de dilucidar qué hacer con él. El pequeño lo único que hacía era mirar distraídamente otras cosas y cuando jugaba Kasparov, miraba, movía y se iba a mirar la partida del lado. Y al final el campeón le ofreció tablas. Ahí nació la nueva estrella mundial, que es este ciudadano noruego.

El ajedrez



- Cómo entrenan los campeones?
- Estudian las partidas de otros campeones
- Apertura, defensa, ataque, todo es estudiado y aprendido...



- Stockfish
- Computador open access
- Alimentado por expertos varios años
- Campeón mundial de los computadores que juegan ajedrez

Figura 10

¿Cómo entrenan los jugadores de ajedrez?

Se entrenan, estudiando las partidas de otros campeones. Hay libros sobre aperturas, libros sobre defensa, juego medio, ataque. Los estudian y se los aprenden de memoria. Porque tienen una capacidad de memoria prodigiosa.

Conscientes de eso entonces, algunos, mezcla entre “computines” y jugadores de ajedrez, tomaron un Programa abierto, un computador *Open Access* que le llamaron *Stockfish* y lo alimentaron con todas las mejores partidas que pudieron recolectar de los libros y de los campeones durante años (Figura 11).

El ajedrez: Alpha Zero



- Es un programa informático creado por Deep Mind empresa de Google
- Tiene redes neuronales que se actualizan en forma continua
- Le entregaron las reglas del ajedrez y le dieron 4 horas para autoentrenarse
- Sin la experiencia humana

5 de Diciembre 2017

Match Alpha Zero v/s Stockfish a 100 partidas
Alpha Zero gana: 28 - 0 y 72 empates

Figura 11

Y crearon un super computador que es el campeón mundial por varios años entre los computadores que juegan ajedrez, *Stockfish*, era imbatible. Estamos hablando de lucha entre computadores, porque ya les ganan a los seres humanos. Entonces la siguiente etapa para no hacer competir a los humanos, para que no pasen bochornos, era competencia entre computadores.

Y aquí viene lo interesante.

Hace un tiempo atrás, *Google* compró una empresa que se llama *DeepMind*, que desarrolló un Programa Informático llamado *AlphaZero* para que juegue ajedrez. Y este es un programa distinto, en el sentido que tiene redes neuronales que se actualizan en forma continua, de aprendizaje profundo.

Y lo que hicieron entonces, fue lo siguiente. Le dieron las reglas del ajedrez, y le dieron 4 horas para que se autoentrenara. ¿Qué es lo relevante de eso? Que ahí se prescindió de la experiencia humana y todo lo que hacían los campeones para entrenarse no lo hizo. Luego, hicieron que se enfrentaran el 5 de diciembre de 2017, en un mach a 100 partidas *AlphaZero* versus *Stockfish*. *AlphaZero* ganó 28 a 0 con 72 empates. Entonces, una neurona que es algo limitado, pequeño o primitivo, como me decía alguien, efectivamente ya a través de este ejemplo, nos muestra que puede ser algo muy interesante como para mirarlo con respeto.

Algunas aplicaciones que existen hoy día de la Inteligencia Artificial (Figura 12). En medicina, diagnóstico, detección de enfermedades, etc., algo voy a mostrar a continuación.



Figura 12

En comercio. *Amazon*, *Alibaba*, estos son titanes del comercio, donde la oferta es personalizada. Economía colaborativa, esto es super relevante que me referiré más adelante. En agricultura, estimación de cosecha, agricultura de precisión, en Visión Artificial, eso se viene y todo esto ya es un campo donde encuentra aplicación la inteligencia Artificial. Banca, asesorías financieras, análisis de riesgo. Derecho y seguridad, datos personales, Hacking, fraude. Transporte, yo creo que todos han sentido el tremendo impacto que esto está teniendo, algo voy a mostrar de *Uber*, de electromovilidad. En educación, la nueva etapa, el desafío del siglo XXI el aprendizaje personalizado, no reemplaza al profesor, es un respaldo para él, eso lo voy a mencionar un poco más adelante. Entrenamiento; la industria de juegos digitales ya pasó los 100 billones de dólares a nivel mundial y está alcanzando los 200 billones de dólares a nivel mundial, para que se hagan una idea.

¿En medicina qué es lo que pasa? (Figura 13).



Figura 13

Hay un principio que dice que un peso invertido en prevención ahorra 9 pesos en tratamiento.

Los jóvenes hoy día no usan reloj. Pero a nadie le resulta extraño usar esto que les muestro en la Figura, este es un reloj que se compró una ayudante en China, 15 dólares, y este es el reverso del reloj, ahí tiene un sensor; hoy día a estos relojes les pueden poner cualquier tipo de sensores. Y ustedes coincidirán conmigo que, teniendo aquí un sensor y un celular, aparatito que es un tremendo computador con capacidad de procesamiento y además que tiene capacidad de transmisión, eso permite entonces, que nosotros a las personas las tengamos monitoreadas en jornada completa

y aquí actuamos preventivamente y como consecuencia, se alivian los hospitales, baja la necesidad de infraestructura, para allá va la micro.

Y esto lo saqué del diario: “*Técnicas de Apple evitaría los pinchazos en diabéticos*”, parece que este proyecto no anduvo muy bien, pero la idea está presente a través del monitoreo, inferir el estado de salud de las personas y tomar acciones con ello.

Proyectos en que el paciente se sienta frente a un computador y dialoga con él (Figura 14).

Figura 14

Hay preguntas y respuestas y al final de las preguntas que le va haciendo el computador al paciente, se encuentra uno con un diagnóstico, con un 91% de certeza, similar a la de un médico con cuarenta años de experiencia. Eso ya está pasando hoy día en muchas partes del mundo. Uno diría, ¿y los médicos no tendrán nada que hacer?, ¿van a quedar cesantes? No, no van a quedar cesantes porque la necesidad de los médicos que tenemos hoy día es infinitamente grande. Ocurre que así van a poder atender a más pacientes.

En comercio: la economía colaborativa, ¿qué es? (Figura 15).

Es la interacción entre dos o más personas mediante un medio digital, uno puede vender lo que quiera, puede transar lo que quiera. Antiguamente uno ponía un cartelito en la casa “se vende”, ahora todo se hace a través de la red. Y uno puede arrendar espacio, vender, permutar ropa, CD’s y lo más importante, uno puede transar su tiempo libre. Me sobran algunas horitas, me hago un “pitutito”, trabajo en *Uber*. O nuestro hijo ya se fue, dejé la casa, tenemos un dormitorio disponible, lo

Figura 15

arrendamos por *AirBnb*. Esa es la esencia que hay detrás de esto. En mi humilde experiencia si algo yo valoro de esto, es que me estoy enfrentando a un servicio que fue evaluado por otros usuarios y eso para mí es relevante, porque me aumenta la confianza, está chequeado.

Fíjense bien que *AirBnb* permite el arriendo de habitaciones, casas, es el mayor proveedor de servicios de residencia del mundo, más grande que cualquier hotel y no tiene ni una propiedad, pero es el que más administra (Figura 16).

Figura 16

Ha revolucionado la forma de viajar. Antiguamente viajar era carísimo, hoy día yo todavía no logro pinchar esos vuelos baratos *low cost*, pero hay que irse a aeropuertos medios raros,

a unas horas que no son a las que uno está acostumbrado. Pero yo me fijo que mi hijo o los parientes jóvenes viajan todos por 20, 30 dólares, iviajan de un país a otro! Primero, el viaje barato y después el alojamiento más barato. Eso revolucionó el mundo de los viajes hoy día. Usted quiere ir a un museo itiene que pedir hora! O tiene que inscribirse con días de anticipación iporque está copado! Y hay ciudades muy turísticas como Barcelona que se están quejando con la gran cantidad de turistas. Venecia, está cobrando impuesto por entrar a la ciudad, partieron con dos dólares y quieren subir a quince dólares el impuesto por visitar la ciudad, porque hay mucho turista.

Como toda nueva tecnología tiene sus pros y sus contras. Aquí hay algunos “New York City ama AirBnb”. Porque permite que cualquiera se gane sus pesitos, unas “luquitas” extra son siempre bienvenidas (Figura 17).

IA: Aplicaciones en comercio

La economía colaborativa – La controversia

- Permite que cualquiera “se gane sus pesitos”
- Los hoteles, hostales y residenciales acusan competencia desleal
- Sectores residenciales se transforman en turísticos, suben los arriendos
- No pagan impuestos
- Desafío : regulación!!

Figura 17

Obviamente los hoteles, los hostales y residenciales acusan competencia desleal. Y aquí también fíjense el mismo New York, el verdadero New York no apoya al *AirBnb*. ¿Por qué? Porque se produjo el siguiente fenómeno: usted estaba tranquilo en su departamento, pagaba 300 mil pesos de arriendo, y el dueño de la noche a la mañana, le avisa: “ahora le voy a subir a 600 mil, icomo de 300 mil a 600 mil? Si, porque eso es lo que gano con el *AirBnb*”. Entonces, ¿qué es lo que pasa?, que la persona que estaba cómodamente ubicada en un lugar se tiene que desplazar a la periferia por estas aplicaciones.

Bueno y ¿cuál es el desafío? En algunas partes algunos edificios prohibieron el arriendo y algunas municipalidades lo están regulando. ¿Cuál es el desafío en mi opinión? Conversar,

donde todos los actores puedan hacer ver su punto de vista y lograr tener en definitiva alguna regulación.

Uber, es como el prototipo de lo que permite la inteligencia artificial (Figura 18).

IA: Aplicaciones en comercio

La economía colaborativa

- Uno trabaja cuando quiere
- El pasajero evalúa el servicio
- El precio se pacta al comienzo
- El servicio es rápido
- En Dallas: No taxi, no bus, solamente *UBER*
- Otra ciudad de USA: Taxi (casualidad) : 25 US\$
UBER (al tiro) : 06 US\$

Figura 18

Tiene la ventaja que uno trabaja cuando quiere, esto para mi es muy importante, también que el precio se pacta al comienzo y el servicio es rápido. Esto ha sido un tremendo avance; recuerdo que en Estados Unidos no había taxis, solamente *Uber*. Por ejemplo, y espero que ninguno de ustedes sea pariente de algún taxista de Viña del Mar, porque son “chacales”; hace 2 años llegué al terminal de buses, nadie me estaba esperando, tomé un taxi y en pleno siglo XXI no usaba taxímetro, le miraban la cara a uno y le pegaban el fierrazo.

Otro ejemplo que me pasó en Estados Unidos cuando *Uber* era incipiente. Recuerdo que con unos amigos fuimos a un mall, y yo como soy medio distraído y campeón para perderme, me perdí, me quedé solo en el mall, entonces salí y esperé como 10,15 minutos hasta que illegó un taxi! Me llevó al hotel y me cobró 25 dólares. Y mis colegas que salieron del mall llamaron a un *Uber*, se demoró 1 minuto iy pagaron 6 dólares!

Ahora, tengo que decirles algo respecto de *Waze* (Figura 19).

Me perdí en Cusco, imagínense, Cusco tiene una calle no más, pero me perdí, y mi señora me sacó la foto cuando estaba desorientado. Les conté que soy “huasteco”, imagínense venir a la capital desde otra ciudad y me pierdo, ustedes dirán, “pero como si este individuo fue rector de la Andrés Bello que trabajaba aquí en Santiago” si, pero siempre con chofer.



Figura 19



Figura 20

El chofer me trasladaba, me abría la puerta y yo nunca miré la ruta que utilizaba, me bajaba y listo, era problema del chofer donde se estacionaba.

Pero ahora yo tengo que moverme solo y gracias a Dios tengo *Waze*, que es una maravilla, ime cambió la vida!, ime habla! En “cien metros gire a la izquierda”, es una maravilla. Esto para mi es un impacto tremendo en mi vida. Y la otra herramienta *Google Maps*, para venir acá, tomé el Metro en la Línea 1, se baja acá camina tantos metros y illego a todas partes adelantado!, ese es un tremendo avance en la calidad de vida de las personas.

Ahora lo que se viene a futuro (Figuras 20 y 21).

Los automóviles autónomos vienen, ¿por qué? Porque objetivamente con el estado actual de la tecnología puede manejar mejor que el humano, definitivamente. Tiene mejor capacidad de reacción, entonces eso va a enfrentar a muchos choferes que van a tener que cambiar de profesión, pero eso ya ha pasado en otros países con la automatización para decirles algo que puede suceder, es brutal.

Estados Unidos tenía hace 50 años una industria automotriz super potente. Hace 50 años el 98% de los autos que había en Chile venían de Estados Unidos, hoy día es el 2%. Y tenía una industria tremenda y que fue reemplazada por los robots. En el 99% del mundo los autos son fabricados por robots. Y hay ciudades que tuvieron que cambiar su fisonomía como Detroit.

Pero con todo el impacto de la tecnología, hoy en día Estados Unidos tiene una tasa de desempleo de 3%, es poco, en realidad



Figura 21

eso es, técnicamente, pleno empleo. Entonces no es algo tan trágico, pero el transporte autónomo viene.

Ustedes ven a los jóvenes y los no tan jóvenes que andan todos en la calle, pegados al celular, ¿a qué es lo que me quiero referir?, a las aplicaciones en educación (Figura 22).

¿Qué sucede? Muchas veces andan pegados a las redes sociales, o entreteniéndose, viendo películas, lo que es válido. Algunos ejemplos: Tuve una experiencia en el ascensor de la Universidad, veo una chiquilla, visualizando una integral, “copuchento dirán ustedes”, y le pregunto: “¿y qué estás viendo? Estoy viendo la solución de un problema de la prueba de Cálculo 3. ¡Ah! ¡Me fue bien, le achunté!”.

IA: Aplicaciones en educación



- Viendo la resolución de integrales triples en una prueba de cálculo
- Esqueleto humano: estudiando los huesos para una “gymkana de anatomía”
- Uso de realidad virtual para aprendizaje

??

- Los estudiantes de hoy no son como los de antes
- Son distintos, interactúan y aprenden de modo diferente
- El desafío del siglo XXI: es el aprendizaje personalizado, adecuado a cada estudiante

➔ Esto lo entrega la IA

Figura 22

Después en otro viaje en ascensor, otra chica iba concentrada y le pregunté: “¿y qué estás viendo? Me estoy preparando para una gymkana de anatomía, tengo prueba”. Iba estudiando en el celular.

Vamos a otra aplicación, *Reconocimiento Facial* (Figura 23).

Reconocimiento facial



- Usa grandes bases de datos
- Seguridad, reconocimiento de personas, acceso a usuarios
- Video vigilancia, seguimiento de sospechosos
- Pagos por reconocimiento facial (Alibaba)

Martes 15 de Mayo 2019

- La Alcaldía de San Francisco (USA) prohíbe a las agencias locales (policía) el uso de reconocimiento facial
- Grupos de derechos civiles: Invade la privacidad en forma excesiva

Dónde está el límite?

Figura 23

Creo que ustedes tienen claro que esto sí que es IA, es como lo más típico. En China, vi como al entrar por una puerta a un profesor a unos laboratorios, se paraba frente a una cámara y le hacía *reconocimiento facial*.

Ví el pago con el IP que el tipo se ponía frente, bueno casi todos usan en China el código QR con el celular. Estuve en

China la semana pasada y no vi nunca una tarjeta de crédito, todo se hacía con el celular y código QR; en el taxi, en la verdulería, en el kiosco de la esquina, todos. En una semana, vi dos transacciones con plata. Una el pago del hotel y otra un café que me compré en el *Starbucks* en el aeropuerto. El resto eran puros celulares con código QR.

Lo interesante es lo que pasó el 15 de mayo pasado, la Alcaldía de San Francisco prohíbe a las agencias locales y en especial a la policía que aplique *reconocimiento facial*, ¿no sé si me entienden? Según asociaciones de ciudadanos se invade la privacidad en forma excesiva. Y aquí surge la pregunta ¿Dónde está el límite? Y no hay una respuesta única para eso, porque las sociedades son distintas y hay sensibilidades diferentes, pero vamos a tener que enfrentar este tema. Cada país va a tener que enfrentarlo y dar su respuesta.

Otro desafío social, tus datos te dan puntuación para el otorgamiento de crédito (Figura 24).

Los desafíos de la IA



Sociales

- Tus datos te dan puntuación para otorgamiento de créditos, seguros u otros beneficios... Dónde está el límite?
- Un sistema de puntuación social que mide tu comportamiento como ciudadano... Dónde está el límite?



Éticos/Legales

- La libertad individual versus el bien colectivo... Dónde está el límite?
- Todos tus datos están almacenados sin tu conocimiento explícito, y se pueden traspasar a otros... Dónde está el límite?

Figura 24

Al pedir un crédito al banco, como los antecedentes de las enfermedades que has tenido ya estaban en una base de datos, por ejemplo, cáncer, te dicen: “*Lo lamentamos, pero no puede tener un crédito, porque usted está enfermo y no va a pagar*”. Eso ya está ocurriendo y lo aceptamos.

O también, se podría tener un sistema que mida el comportamiento como ciudadano, si no te pasaste un semáforo, si no le pegaste al vecino, si pagaste tus cuotas, eso te podría dar puntaje como mejor ciudadano y puede acceder a un mejor colegio, mejor servicio. Eso está pasando.

Entonces, la pregunta es ¿dónde está el límite? En algunos países eso es aceptable en otros no lo es.

El típico conflicto entre la libertad individual y el bien común y no hay una respuesta única para eso. Y ese tipo de temas los tenemos que ir discutiendo como país.

Ahora, hay que tener presente que todos nuestros datos están almacenados, la gente de *Facebook*, por ejemplo, sostiene que, si tu publicaste tus datos, es porque los quieres mostrar, entonces ¿de qué te vienes a quejar ahora que los usamos? Entonces, hay como un derecho adquirido de otras personas de apropiarse de esos datos. Bueno, ese es un debate que estamos viviendo hoy día. Entonces la pregunta es, ¿dónde está el límite?

En el aspecto comercial (Figura 25).



Figura 25

Las grandes empresas de internet tienen que pagar impuestos, pero ¿dónde? En el país de origen, en un paraíso fiscal donde establecen su sede central o tienen que pagar algo de impuesto por lo que se hace acá.

No sé si escucharon, hace como uno o dos meses atrás, el parlamento francés decidió que aplicaría un 3% de impuesto a 4 empresas, el impuesto GAFA se le llamó, *Google, Apple, Facebook y Amazon* y la respuesta del presidente de Estados Unidos fue “esto es una declaración de guerra comercial”. Y nosotros ahora estamos definiendo el impuesto que queremos cobrarle a estas empresas.

Esto me gusta mucho a mí porque va a la esencia de la magnitud del impacto que representa la IA hoy día (Figura 26).



Figura 26

¿Un trabajador de *Uber* o *Corner Shop* es empleado o socio? Es tema de debate en muchos países. En algunos dicen que son empleados. Si es empleado, entonces hay que pagarle Isapre, AFP y vacaciones pagadas. Hace un par de meses atrás, el Servicio de Seguro Social de Madrid demandó a la empresa *Deliveroo*, que es una empresa de *delivery* porque le dijo esas personas son empleados suyos. Pero la empresa dijo: “no, yo soy un intermediario entre dos personas que quieren un servicio”. Entonces, en el debate en el tribunal de primera instancia la pregunta fue: “a ver, usted le define reglas a esas personas como tienen que hacer el trabajo? Si, contestaron. Entonces son empleados”. Pero la empresa replicó: “Si yo le asigno el transporte de un producto, él puede decir si lo quiere o no lo quiere hacer” y la contra argumentación fue: “¿pero a ese ciudadano que decide no tomar un servicio, usted como empresa lo puede despedirlo? Si. Entonces, es empleado...” y al final ese tribunal de primera instancia dijo: “Son asalariados”. Pero ahora, obviamente la empresa va a la instancia del tribunal de apelación; ese es el juicio emblemático que está tramitándose ahora en España ¿Qué es lo relevante de eso? Que, por la argumentación en el juicio, fíjense bien que nos encontramos con la tecnología que nos sacude con algo que para nosotros era muy claro, estamos obligados a redefinir qué es el trabajo, hasta ese nivel es el impacto que estamos teniendo con las tecnologías, nos obligan a repensar una nueva institucionalidad para muchas materias.

Los sábados en la mañana, voy siempre al supermercado, me encanta. Y ahora lo que más veo ahí, son jóvenes de *CornerShop* y el caballero que me pesaba las frutas que era de mi edad o más ya no está, porque hago yo solo esa labor. Esa persona perdió su empleo. Ahora lo que tenemos que ver como país es que más que preocuparse de los puestos de trabajo, hay que preocuparse del trabajador, porque durante la transición,

entre que esa persona perdió el empleo, encuentra otro y se capacita para tener otro, durante esa etapa de capacitación también necesita plata para comer, para mantener a su familia. Entonces, eso nos obliga a nosotros a preocuparnos también de esa persona en esa circunstancia.

Entonces la tarea para la sociedad es establecer los límites (Figura 27).

La tarea para la sociedad

¿Y dónde están los límites?

- Debemos dialogar
- Debemos ponernos de acuerdo
- No hay una verdad única
- Lo que es aceptable en un país, en otro no lo es



Figura 27

Debemos dialogar debemos ponernos de acuerdo, no hay una verdad única, lo que es aceptable en un país no lo es en otro.

¿Qué es lo que vimos en este grupo de trabajo que está preocupado de la IA? (Figura 28).

El equipo detrás de la propuesta

Comité técnico de académicos convocados por el senador Girardi

✓ Dr. John Atkinson Universidad Adolfo Ibañez	✓ Juan Walker Senado
✓ Dr. Juan Velásquez Universidad de Chile	✓ Dr. Guido Gleardi Senado
✓ Dr. Carlos Castro Universidad Federico Santa María	✓ Dr. Carlos Hernández Universidad Andrés Bello Presidente SSCC
✓ Dr. Mario Ponce Pontificia Universidad Católica	✓ Dr. María José Escobar Universidad Federico Santa María
✓ Dra. Nayat Sánchez INRIA, Chile	✓ Dr. Alvaro Soto Pontificia Universidad Católica
✓ Dr. Pedro Maldonado Universidad de Chile	✓ Dr. Mauricio Marín Universidad de Santiago
✓ Dr. Wolfhart Totschnig Universidad Diego Portales	✓ Dr. José Rodríguez Pérez Universidad Andrés Bello
✓ Dr. Néstor Becerra Universidad de Chile	



Áreas: Matemáticas, Computación, Neurociencias, Ingenierías y Filosofía.

Figura 28

Que no tenemos una estrategia como país, de hecho, el Presidente Piñera, le encomendó al Ministro hacer un plan. Un equipo que está detrás de la propuesta que partió con un número de académicos convocados por el Senador Girardi.

Ustedes pueden ver nombres de profesores. Y quiero destacar que somos de diferentes universidades. Si ustedes se fijan hay privadas, del CRUCH, estatales y también de diferentes áreas, de matemáticas, computación, neurociencia, ingeniería, filosofía, tenemos todo el espectro ahí.

Quiero señalar en relación con la IA algunos principios de la OECD sobre la materia (Figuras 29, 30 y 31).

5 Principios OECD para IA

OECD Mayo 2019

1. Beneficiar a las personas y al planeta, impulsando el crecimiento inclusivo, desarrollo sostenido y bienestar.
2. Sistemas que respeten las leyes, los derechos humanos y los valores democráticos, asegurando una sociedad sin discriminación, equitativa y justa.



Figura 29

5 Principios OECD para IA

OECD Mayo 2019

3. Transparencia y divulgación responsable de IA, asegurando que se entiendan sus resultados.
4. Sistemas que operen en forma robusta y segura, y sus riesgos evaluados y gestionados.
5. Ser responsables del buen funcionamiento de estos sistemas y del respeto a estos principios, según roles, contexto y estado del arte de cada actor involucrado en IA.



Figura 30

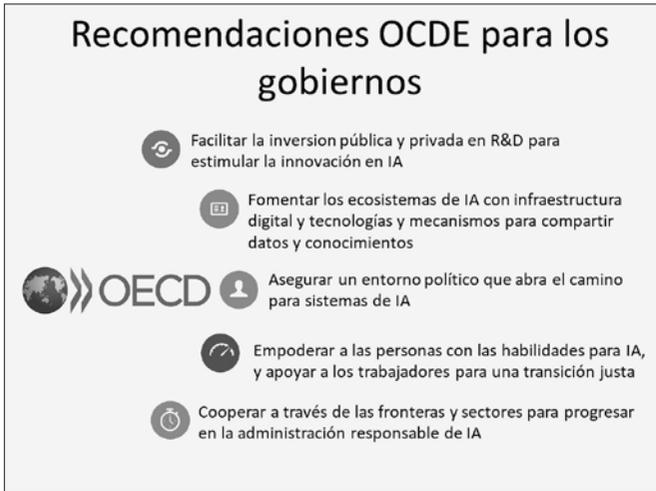


Figura 31

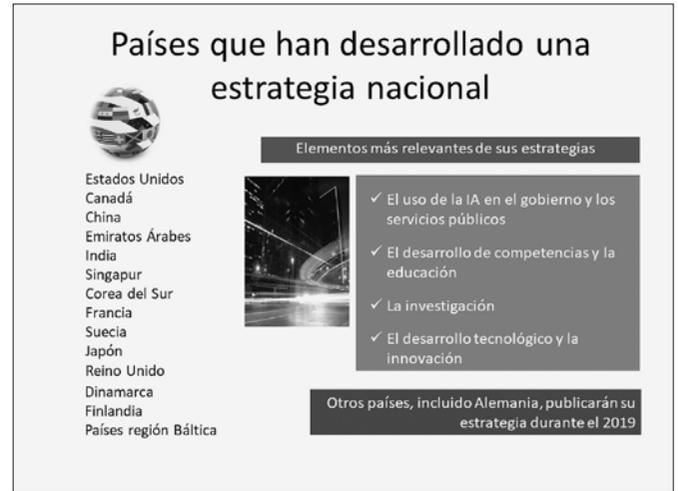


Figura 32

El primero dice: Beneficiar a las personas y al planeta, impulsando el crecimiento inclusivo y el bienestar. Tienen que ser sistemas, los de IA, que respeten las leyes, los derechos humanos y los valores democráticos.

Promover la transparencia y la divulgación responsable, asegurando que se entiendan sus resultados. También Sistemas que operen de forma segura y robusta. Ser responsable en el respeto de estos principios, eso es lo que se pide, difícilmente alguien podría estar en desacuerdo con esto. No me provocan ninguna reacción negativa estos principios porque, para mí, es obvio que tienen que ser así.

Más útiles encuentro las recomendaciones que la OECD les hace a los gobiernos. La primera recomendación dice: que facilite la inversión pública y privada en investigación y desarrollo, para estimular la innovación en IA. Ya el mandato es más preciso, no todos los gobiernos lo hacen.

Fomentar los ecosistemas de IA con infraestructura digital y tecnologías para compartir datos y conocimiento.

Asegurar un entorno político que abra el camino, porque aquí, en esto que yo llamo “ponernos de acuerdo”, es trabajo político que vamos a tener que enfrentar todos los países.

Y aquí la otra cuestión que necesitamos es educar a la gente en IA para que sepan manejarse mejor con las tecnologías. Entonces aquí está el empoderar con habilidad y apoyar a los trabajadores para una transición justa. Y la cooperación entre los países para seguir avanzando.

Países que han desarrollado una estrategia nacional (Figura 32).

Otros países, por ejemplo, Alemania, publicarán su estrategia durante el año 2019 y los elementos más relevantes, que son comunes a prácticamente todas las estrategias. Primero: declarado un objetivo super preciso de uso de IA en el gobierno y los servicios públicos. Y después educación masiva de la población para el desarrollo de las competencias, desarrollo de la investigación y el desarrollo tecnológico de la innovación. El Plan de Francia que nos gustó mucho a nosotros tiene 1.500 millones de Euros para su puesta en ejecución.

¿Qué pasa con la realidad nacional? (Figura 33).



Figura 33

Hay iniciativas importantes que conviene mencionarlas acá. Está el Proceso de Modernización del Estado, la Agenda Digital 2020, Gobierno Digital, Transformación Digital de la CORFO, Política Nacional de Ciberseguridad, Ley de protección de datos Personales, Observatorio de datos del Ministerio de Economía. Son iniciativas que no están muy interconectadas, pero no hay ninguna meta, no hay ningún objetivo ambicioso, nada, y cero recursos como para hacer algo de verdad. Presupuesto adicional no existe. Y si uno no le pone recursos, no va a pasar nada.

La realidad Nacional (Figura 34).

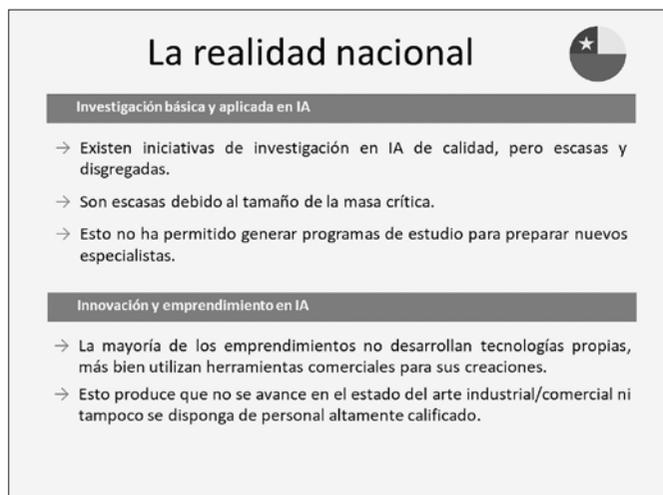


Figura 34

En investigación básica, nos entrevistamos con empresarios, con el mundo social, sindicatos y con organismos del Estado. Y en general, sobre todo en el mundo empresarial, la masa crítica es muy pequeña, existen algunas iniciativas de calidad, pero escasas y disgregadas, falta volumen en Chile, ser más grande y esto no ha permitido generar Programas de Estudio para preparar nuevos especialistas.

En innovación, la mayoría de los emprendimientos que uno podría asociar con los que usan herramientas comerciales de IA y la aplican para resolver un problema, está bien. Pero no estamos desarrollando nosotros nuestras propias herramientas, eso es importante.

En la formación de personas, Figura 35.

En educación primaria y secundaria prácticamente no tenemos nada, y a nivel de educación universitaria en carreras de informática y electrónica tenemos algunas actividades, sobre

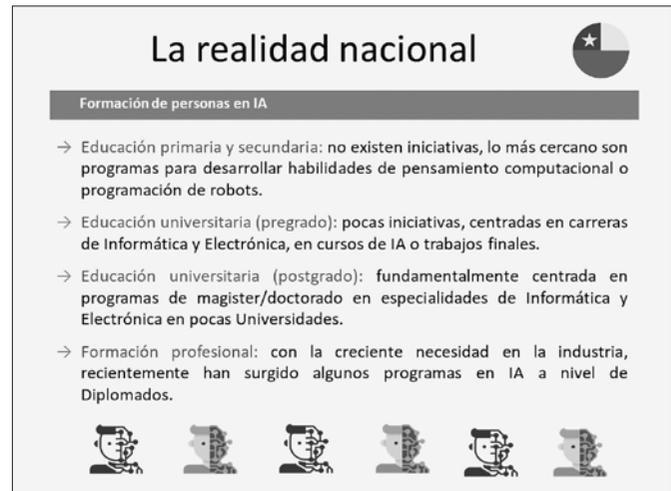


Figura 35

todo en trabajos finales de tesis. Y en la formación profesional en Post grado, ya se están desarrollando más actividades en magister y doctorado. Pero de nuevo tenemos el mismo problema, que la profundidad es muy baja, el volumen es pequeño, falta masa crítica. Se han visto, por la necesidad de la industria, algunos programas de diplomado que están siendo entregados por las universidades.

En lo que es infraestructura (Figura 36).



Figura 36

No existen grandes centros especializados en que podamos decir: “*aquí tenemos un foco que ilumina al país en lo que es IA*”, eso no lo tenemos. Hay laboratorios menores, eso hay que reconocerlo, al interior de departamentos de informática,

electrónica, pero de nuevo tenemos falta de volumen. Y quiero dejar claro acá que esta cuestión no es la típica de los investigadores que uno dice: “lo único que piden es plata, creen que la plata cae del cielo, nunca se llenan”, no es así. Creo que efectivamente hay una necesidad país.

¿Por qué es necesario una estrategia digital? (Figura 37).

Por qué es necesaria una estrategia digital?

- El impacto es muy grande para el país:**
 - tiene riesgos, genera temor
- Nos obligará a redefinir aspectos fundamentales:**
 - trabajo, negocios, ética, libertad, leyes, etc.
- El país tiene algunas iniciativas aisladas**
- La IA genera oportunidades**
- No hay considerado un plan de desarrollo en IA:**
 - creación de industria, creación de empleos, generación de profesionales, centros de I+D+i de IA
- Nos faltan metas nacionales claras y ambiciosas:**
 - con los recursos para alcanzarlas que nos permitan ser actores relevantes

Figura 37

Porque creo que, con lo poco que les he podido mostrar por una limitación de tiempo, les he demostrado que efectivamente el impacto para este país y para cualquier otro, es grande. Y esa es la razón por la cual los países han reaccionado haciendo un Plan, haciendo una estrategia seria. ¿Y por qué también es necesario enfrentar esto? Porque hay aspectos fundamentales de nuestra sociedad en que se afecta al trabajo, los negocios, la libertad. Hay que definir lo que se llama, un **acuerdo sustrato básico de ética** sobre el cual uno va a construyendo las leyes, principios valóricos. Eso hay que construirlo. Creo que eso se puede hacer rápido, pero de alguna manera hay que dialogar. No puede salir un grupito de profesores, 15 profesores que se juntaron todas las semanas, una horita a hacer algo. Hay que escuchar a la ciudadanía, hay que escuchar a los *stockholders*, hay que hacer algo participativo.

El país, como les dije, tiene algunas iniciativas aisladas, pero en nuestra opinión no son suficientes. Ahora, donde hay un problema, yo veo una oportunidad. La oportunidad es que nosotros podemos construir una industria, crear empleos, formar profesionales. Pero vamos a formar 20 mil profesionales, 10 mil en un tema, 5 mil en otro, etc., cuestiones de ese tipo, pero debe haber una meta que nos podamos poner como país. Eso lo podemos hacer. Tenemos lo esencial, tenemos jóvenes

sanos, bien alimentados y tenemos buenas universidades. Alguien me puede decir: “pero, *icómo no están más arriba en los rankings!*”. Es porque somos pequeños, nada más, pero las universidades chilenas son buenas y pueden hacer la pega. Y lo más relevante, ¿por qué es necesario una estrategia?, porque como país no tenemos metas claras y ambiciosas. Si uno no tiene una meta, jamás va a llegar a un resultado, pero si uno se propone una meta, se van a asignar recursos, asignar prioridad, va a trabajar para conseguirlo. Si no tenemos una meta nunca vamos a hacer nada. Esa es la idea.

Por lo tanto, la propuesta (Figura 38).

La propuesta

“Proyecto de creación de una estrategia de Inteligencia Artificial para Chile”

Objetivo general

Crear una estrategia de I+D+iS en IA para Chile, que constituya, una hoja de ruta que le permita al país concentrar sus esfuerzos y talentos en una interacción con la Inteligencia Artificial para los próximos 20 años, con el foco puesto en la Investigación (I), el Desarrollo (D), la innovación (I) y su impacto en la Sociedad (S).

Objetivos específicos

1. Levantar, desde la sociedad chilena y otros actores internacionales, la mayor cantidad de necesidades, capacidad instalada, inquietudes, visiones y anhelos, en torno al futuro del país y en cómo la IA permitiría alcanzarlos.
2. Definir, basados en una consulta nacional y en un análisis de brechas y oportunidades, aquellos ámbitos estratégicos de implementación y desarrollo.
3. Crear un documento que sintetice la estrategia chilena, junto con algunas propuestas centrales y de alto impacto.

Figura 38

Decirle al Gobierno, al Presidente o al Ministro. El Presidente ya había recibido por vía interna interna este documento, y creo que eso lo motivó a llamar al Ministro de Ciencias y pedirle crear una estrategia de investigación desarrollo innovación y sociedad para Chile, que sea una hoja de ruta que le permita al país concentrar sus esfuerzos de aquí a 10, 20 años, esto es lo que queremos hacer, una meta. Pero tiene que ser el Gobierno, no un grupo iluminado que se juntó por ahí. Porque al final hay que asignarles recursos para que eso se haga. Y de hecho en todos los planes país que nosotros estudiamos, la iniciativa venía directamente del Presidente de la República. No es factible que el Gobierno esté mirando para el lado y algunos académicos traten de hacer otra cosa porque eso no va a tener ningún impacto.

Y el objetivo, es levantar desde de la sociedad y otros actores internacionales la mayor cantidad de necesidades, inquietudes, visiones y anhelos en torno a este ámbito y cómo la IA podría desarrollarse en el país. Entonces, definir y hacer una

consulta a los actores clave para hacer un análisis de brechas y oportunidades y definir aquellos aspectos estratégicos en los cuales se va a focalizar el país. Y luego, crear un documento que sintetice la estrategia chilena junto con algunas propuestas clave. Pero lo más importante es que haya metas y objetivos. Eso lo tiene que hacer el Gobierno, no nosotros.

Esta es la última (Figura 39).



Figura 39

Efectivamente la IA es un Tsunami que impacta prácticamente a todo el ámbito del quehacer de una sociedad. El impacto es profundo y en algunos casos puede ser negativo, algunos empleos se van a perder, alguna gente puede ver sus ingresos en cierto riesgo, pero yo no me quedo con la parte negativa, a mí lo que más me motiva en esto es el impacto positivo. Crear una industria de IA, con todo lo que implica, tecnología de información, automatización, se puede hacer. Pero para eso hay que tener un proyecto país, una meta.

Y por eso le pedimos al Gobierno que haga un proyecto, el Presidente, como dije, ya el viernes mandató al Ministro de Ciencias sobre este particular. Y creo que tiene que hacerlo con algún otro ministerio, porque esto impacta a todos los ministerios, es un Plan de Trabajo, le dijo que lo tenía que tener para abril, son 8 meses. Nosotros propusimos 9 meses. ¿Por qué nosotros pusimos 9 meses? Porque los franceses se demoraron 9 meses en hacer su proyecto y por qué vamos a ser menos que ellos. Claramente en un mes no se hace,

pero si vamos a estar 9 años, se nos pasó la micro y si los franceses hicieron algo serio y bueno en 9 meses, ahí hay una referencia.

Trataremos de ayudar al Ministro de Ciencias para que lo haga en el menor plazo posible.

Muchas gracias.

(Aplausos).

Al término de la exposición, El Sr. Rodríguez consultas de los asistentes. A continuación, reproducimos lo más relevante de estas intervenciones.

Sra. Sally Bendersky.

—No sé si ustedes analizaron el tema de la igualdad de oportunidades en la sociedad. Algunos autores opinan que donde hay desigualdad esta va a aumentar. Y eso es un tema que es necesario tomarlo antes de que ocurra.

Sr. José Rodríguez.

—Permíteme hacerte un comentario al respecto. El problema que hay con eso es que se puede producir una polarización brutal, los países ricos que desarrollan la tecnología se van a llenar de plata y nosotros vamos a estar comprando ese servicio y vamos a ser cada vez más pobres. Eso lo tenemos presente, es un serio riesgo que se materialice, así es.

Sra. Sally Bendersky.

—Una segunda consulta. Cuando veíamos el tema de la educación, apreciamos que tu nieto y los míos nacieron ya dispuestos a utilizar computadores y tablets. Los profesores de hoy día no, entonces estoy pensando en la transición. Por ejemplo, ¿en tu universidad y en otras están cambiando? Porque pienso que el rol del profesor de hoy ya debiera ser radicalmente distinto, porque, sino pierde completamente su poder de influencia sobre los alumnos. Y entonces, a mí se me ocurre que veo mallas curriculares que no tienen nada que ver con las que nosotros conocemos. Entonces te quería consultar si ¿eso se está abordando a nivel país, a nivel de tu universidad o en alguna parte?



Don José Rodríguez en compañía de la Sra. Sally Bendersky y los Sres. Luis Nario, Tomás Guendelman, Cristian Hermansen y Alejandro Steiner.



Sres. Dante Bacigalupo, Mauricio Sarrazin, Germán Millán, Carlos Gajardo y Pedro Lasota.



Don Luis Nario con los Sres. Luis Pinilla, Roberto Fuenzalida, José Antonio Guzmán y Javier Etcheberry.

Sr. José Rodríguez.

—Una vez me tocó participar en un Encuentro Mundial de Educación donde al ultra experto, le preguntaron: “¿qué se podría hacer, que medida tomar para mejorar la calidad de la educación en un país ¿qué es lo que haría usted?”. Lo más importante es buscar a la mejor gente para que estudie educación y pagarles los mejores sueldos posibles y con eso vas a producir el cambio. ¿Qué es lo que han hecho países como Finlandia?, me acuerdo de que se lo mencioné a Lavín que estaba de Ministro de Educación en aquella época. Fomentar que los jóvenes estudien educación, abaratarles el costo de la carrera, atraer a los mejores para eso. Y una vez que tenga esa gente, van a empezar a innovar, o sea, teniendo buena gente, innovar es la forma de hacer clases, eso es lo que hay que hacer, pero no podemos seguir como con la forma antigua de hacer las clases. Y si uno tiene profesores que no son buenos y no están bien pagados la cuestión se hace muy dificultosa.

Sr. Cristian Barrientos.

—*Muchas gracias por la charla. Si uno ve las diferentes predicciones en torno al desarrollo de la IA, hay algunas que hablan de que efectivamente no toda la gente se va a poder convertir a los nuevos oficios y profesiones, pero que con la eficiencia que va a generar la IA, a esa gente se le va a poder dar una suerte de sueldo ético para que pueda vivir. Eso nos lleva a tener una masa de gente ociosa para lo cual el ser humano no está preparado.*

El ser humano no está preparado para ser ocioso en su entorno social. ¿Cuál es su perspectiva respecto de este punto?

Sr. José Rodríguez.

—Bueno, creo que a lo que se nos enfrenta es que el ser humano se ponga más irrelevante, porque las máquinas ya hacen la pega y no lo necesitan a uno. Entonces el hecho de lo que tu planteaste de evitar que la persona se sienta irrelevante es un elemento que vamos a tener que poner en la ecuación para que efectivamente se produzca un desarrollo armónico. Yo me entretengo trabajando, lo paso bien trabajando, no me imagino levantándome y quedar desocupado al tiro. Y eso va para todas las personas. Ese aspecto que tu mencionas hay que tenerlo presente para dar la solución final. Pero no es fácil, hubo un experimento que se hizo en Finlandia, Holanda o Suiza, creo, de pagarle a cerca de 2000 personas, un sueldo solamente porque eran ciudadanos. Y al final decidieron no renovarlo, parece que no funcionó. Es un tema muy importante el que tu planteas y que te reitero, hay que tenerlo presente para la solución. Porque no es trivial dejar a la gente desocupada si hacer nada. Me preocupa.

Muchas gracias.

(Aplausos).

Fin de la Conferencia.

PREMIO
“MEDALLA DE ORO -
AÑO 2019”

Al Sr. Jorge Yutronic Fernández



Don Jorge Yutronic F., premio “Medalla de Oro - Año 2019”, en compañía de don Luis Nario M., Presidente del Instituto de Ingenieros y don Rodolfo Saragoni H., premio “Medalla de Oro - Año 2018”.

El pasado martes 29 de octubre de 2019, en ceremonia solemne realizada en el Salón de Honor del Instituto, don Jorge Yutronic Fernández recibió el Premio “Medalla de Oro - Año 2019”, máximo galardón de la ingeniería chilena.

El Presidente del Instituto, Sr. Luis Nario, dio inicio a la ceremonia refiriéndose a la naturaleza del premio, su significado dentro del Instituto y en la comunidad de los ingenieros, y al especial merecimiento de quien lo recibe en esta oportunidad. A continuación, como es tradicional, la presentación del galardonado estuvo a cargo del ingeniero que obtuvo esta distinción el año anterior, don Rodolfo Saragoni H.

El Presidente.

—Ayer 28 de octubre, el Instituto cumplió 131 años de existencia. Esta fecha, por su relevancia para los miembros del Instituto, tradicionalmente se hace coincidir con la entrega del premio “Medalla de Oro”, el galardón por excelencia de la ingeniería chilena.

Desde su fundación, el Instituto de Ingenieros de Chile ha tenido presencia permanente en el desarrollo del país, contribuyendo a la discusión de temas relevantes para su progreso y el de sus habitantes.

Son conocidos sus aportes, que se inician en los Informes sobre Política Eléctrica Chilena, en el año 1935 y el Plan de Electrificación del País, la propuesta de creación de ENDESA y ENTEL, el estudio base del primer Código de Aguas, luego la Política Nacional de Riego y más recientemente varios estudios e informes que sería largo enumerar; y que todos ellos se encuentran a disposición del público en nuestra web.

Es importante destacar que estos textos, de Comisiones o grupos de trabajo, se reúnen para estudiar las materias que el Directorio del Instituto ha estimado relevantes para el desarrollo del país.

En el contexto de sus actividades, nuestra Corporación tiene también entre sus labores más importantes, a la vez que gratas, el reconocimiento a aquellos ingenieros que se han destacado por sus contribuciones a la profesión y a la sociedad.

En el día de hoy se da término al proceso de elección y premiación que realizamos cada año, en el que otorgamos nuestro más importante galardón, la Medalla de Oro.

En este acto pretendemos capturar y destacar lo mejor de tantos ingenieros que han contribuido a construir, con su aporte personal y profesional el Chile en el que hoy vivimos.

Como hemos señalado, la Medalla de Oro constituye la máxima distinción que otorga anualmente el Instituto de Ingenieros de Chile y se entrega al Ingeniero que se haya destacado, a través de su trayectoria de vida profesional, por sus extraordinarios aportes y servicios a nuestro país, a la profesión o al propio Instituto.

En el panel de honor que se encuentra en este salón, se consigna la lista de todos aquellos que han sido merecedores de este premio desde 1931, e incluye a algunos de los más ilustres ingenieros de nuestro país.

Es una lista que, además, cada año, se ve incrementada por la incorporación de otro extraordinario profesional, y de esa manera ha ido construyendo por sí misma el prestigio que este premio ha alcanzado.

Y hoy como ayer confiamos en que la sabiduría y prudencia de todos estos Medalla de Oro contribuirán a tener pronto un Chile pacífico y optimista que reinicie su marcha hacia adelante.

Este año, al otorgar la Medalla de Oro del Instituto de Ingenieros a Jorge Yutronic, hacemos honor, por una parte, al aludido prestigio que precede a este galardón, y por otra, a su enriquecimiento, con la incorporación de tan ilustre personalidad a ese exclusivo grupo. Su nombre ya ha sido incorporado en este registro y en el panel mencionado.

Una de las tradiciones más respetadas y queridas de nuestra institución es otorgar el honor de presentar formalmente a nuestro premiado, al galardonado con el “Premio Medalla de Oro - Año 2018”, en este caso a don Rodolfo Saragoni, pero antes de darle la palabra quisiera, como Presidente del Instituto, expresar mi particular admiración por las excepcionales cualidades personales y profesionales de Jorge Yutronic y que serán dadas a conocer a ustedes en breve.

Le transmito con el mayor afecto, que son muchos los presentes y otros que involuntariamente están ausentes, que por mi intermedio desean extenderle sus más calurosas y sinceras felicitaciones por el galardón que hoy le entregamos, expresando a la vez una legítima satisfacción porque sus merecimientos le están siendo reconocidos en esta ocasión por nuestro Instituto.

Estimado Jorge, recibe un afectuoso abrazo.

Muchas gracias.

Sr. Rodolfo Saragoni H.

—Sr. Luis Nario Matus, Presidente del Instituto de Ingenieros, Sr. galardonado Jorge Yutronic Fernández, Señores Directores y miembros del Consejo Consultivo del Instituto, familiares y amigos del premiado, señoras y señores.

Nos encontramos convocados esta mañana, en días históricos del país, a la ceremonia de la premiación máxima, la Medalla de Oro, que entrega este más que centenario Instituto de Ingenieros. La presente ceremonia consiste en que el premiado del año anterior presenta al galardonado del presente año.



Don Jorge Yutronic Fernández recibe la Medalla de Oro y Diploma de Honor - Año 2019, de manos de don Luis Nario Matus, Presidente del Instituto de Ingenieros de Chile.

En la oportunidad anterior, reunidos en este mismo hemiciclo, me correspondió decir mi discurso de agradecimiento, el cual en su final decía:

“Por razones de trabajo he viajado numerosas veces a Finlandia, país paradigmático para los chilenos en educación y otros logros. Compartiendo un café con un ingeniero finlandés en Savonlinna a él, que había viajado varias veces a Chile, le pregunté: qué le había impresionado más de Chile. Me respondió “la desigualdad”.”

En esa oportunidad quise llamar la atención que la placa de la desigualdad estaba acumulando suficiente energía para producir un terremoto social de proporciones, que ocurrió en esta histórica fecha del 18 de octubre con su tsunami humano del día 25.

Quiero iniciar este discurso recordado que el tema de la desigualdad, causante de la actual crisis nacional, hace un año ya era un tema de preocupación del Instituto de Ingenieros.

Afortunadamente nuestro primer mandatario y las autoridades han comprendido el cambio solicitado, el que no puede inscribirse en un “Se vogliamo che tutto rimarca come e bisogno che tutti cambi”, el cínico “que cambie todo para que nada cambie” de El Gatopardo de Giuseppe Tomasi, príncipe de Lampedusa, para así garantizar el anhelado futuro de ser país desarrollado con cohesión social.

Hace 2,5 millones de años se inició la prehistoria en África Oriental con la evolución de los homínidos a los homos.

Nuestro género homo aparece con los yacimientos más antiguos que poseen industria lítica en el lago Takana en Kenia.

Al género humano se le asocian dos características: el desarrollo encefálico y la elaboración de tecnología lítica.

Esta tecnología de fabricación de puntas de sílex de flechas y lanzas, ingenios que nos remontan a 2,5 millones de años al nacimiento de la ingeniería, con esta tecnología que desde su inicio tiene ese carácter bivalente civil y militar.

Me corresponde el honor de presentar al ingeniero Jorge Yutronic Fernández, quien se ha caracterizado por ser un reconocido impulsor del desarrollo de la tecnología endógena en Chile. Un homo sapiens que con su iluminadora antorcha ha abierto puertas a la tecnología nacional.

Jorge Yutronic nació en Santiago en 1951, hijo de Tomás Yutronic Ivanovic y Safina Fernández Vidal, ambos comerciantes, quienes formaron una familia de 6 hermanos: Iván Patricio (fallecido), Milivoy, Tomás, Sergio, Juan Carlos y Jorge.

Jorge desde pequeño se consideraba y la familia también, que era un ingeniero chico, por ser muy bueno para las matemáticas y el dibujo.

Jorge estudió en el Liceo Público N°14, actual Liceo Juan González Millas de la Gran Avenida, donde su rector Jaime Ramírez hizo el experimento de llevar profesores de buena calidad de otros colegios que estimularon y desafiaron el desarrollo tecnológico temprano de Jorge.

Para Jorge, a sus quince años, su ídolo era el inventor serbo-croata Nikola Tesla, inventor del motor eléctrico, la electricidad alterna y la energía eléctrica como la conocemos hoy. Este inventor nació en la actual Croacia, país de donde emigró el abuelo de Jorge a Chile a fines del siglo XIX.

Jorge ingresó a la Universidad de Chile a ingeniería eléctrica siguiendo el ejemplo de su ídolo Tesla. Estudió simultáneamente dos menciones: Control Automático y Potencia, siguiendo además un grado de magister, egresando en 1974.

En control automático encontró a su mentor el profesor Guillermo González Rees de quien fue su ayudante de investigación.

Este año el Instituto de Ingenieros ha premiado a dos discípulos de Guillermo González, premio Raúl Devés Jullian, a: Aldo Cipriano, premio Raúl Devés Jullian 2019 y Jorge Yutronic, Medalla de Oro 2019. Hago propicia esta oportunidad para rendir un modesto homenaje a Guillermo González, Ex Decano de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

Jorge ingresó en 1975 a ENDESA, a iniciativa del profesor ingeniero de ENDESA Agustín León, donde se dedicó a pruebas de equipo eléctrico mayor, pero permaneció, sólo un corto tiempo, para trasladarse a la Universidad de Concepción, a solicitud de sus ingenieros metalúrgicos para un proyecto de la mina Chuquicamata.

Allí en la Universidad de Concepción, trabajó por nueve años como ingeniero en automatización digital y transformación productiva de plantas, una vanguardia en esos días y uno de sus ejes destacados de su contribución profesional.

A continuación, se desempeñó como gerente de SONDA S.A. en diferentes ámbitos entre 1985 y 1999.

En 1999 fundó la Compañía Tecnológica Kyber, cuyo objetivo es la automatización en minería, energía e industria, de la cual es su presidente. En 2002 fundó la empresa Movilmaster, dedicada a la telemática, de la cual es uno de sus directores.

Jorge Yutronic desarrolló además otros dos ejes en su trayectoria profesional: Realización de actividades en Instituciones de

Educación Superior y el diseño e implementación de políticas públicas, principalmente en Ciencia y Tecnología.

Ejerció como rector de la Universidad de Las Américas entre 2007 y 2008; anteriormente fue miembro de la Junta Directiva de la Universidad Arturo Prat y de la Tecnológica INACAP.

Jorge ha sido Director de este Instituto de Ingenieros, siendo su Presidente en el período 2002-2003.

Jorge Yutronic ha sido un destacado consultor internacional en gestión en ciencia, tecnología, innovación y competitividad para gobiernos, empresas y universidades, tanto en Chile como Argentina, Brasil, México, Perú, Uruguay, Panamá, El Salvador y organismos internacionales como el BID, UNESCO y PNUD.

Es socio fundador y director de la Empresa Consultora SYN, que actúa principalmente en las áreas de mejoramiento del desempeño y gestión de la innovación para empresas e instituciones. Para ello ha desarrollado el sistema Sigma, que sintetiza su experiencia y visión desarrollada en más de 40 años. Este sistema se ha estabilizado en los últimos años, después de una evolución larga y su prueba progresiva en más de 100 iniciativas.

Natalia, hija de Jorge, ingeniero comercial, ejerce como gerente y socia de la empresa SYN.

Jorge está casado con Paz Fernández Landa, creadora en pintura, esculturas de pequeño formato y obras textiles, formando una familia de 3 hijos, la mencionada Natalia; Catalina, Arquitecto, master en Nottingham, ejerce en Londres junto a su esposo con su empresa A + Y Architects y Jorge, reconocido maestro de Kung Fú. Director de Escuela Choy Lee Fut en Viña del Mar.

Jorge Yutronic ha recibido los siguientes reconocimientos: Premio Ingeniero Sobresaliente otorgado en forma conjunta por el Institute of Electronics and Electrical Engineers (IAEE), EEUU y la Asociación de Industrias Electrónicas de Chile en 2007. Miembro de la Academia de Ingeniería de Chile desde 2007. Miembro de la Academia de Ingeniería y Tecnología de los Países en Desarrollo, con sede en Kuala Lumpur, Malasia, desde 2017 y desde 2018 miembro vitalicio del Institute of Electronics and Electrical Engineers de EEUU.

Es reconocido nacionalmente como un infatigable promotor del desarrollo de la tecnología en Chile, siendo director ejecutivo del Fondo de Fomento para el Desarrollo Científico – Tecnológico de Chile (FONDEF), entre 1991 y 2006. Uno

de los fundadores y presidente del Comité Directivo del programa Explora de difusión de ciencia y tecnología entre 1996 y 2006.

Su preocupación por la articulación tecnológica entre universidades y las empresas se ha traducido en iniciativas como el Programa de Ingeniería 2030.

En 1996 fue invitado a Nueva Delhi a explicar la tecnología de monitoreo digital a una productora de alimentos. Después de su presentación, en el cocktail, se acercó uno de los anfitriones, quien le dijo ya más distendido: Ud. entendió bien nuestro problema, pero no nuestras perspectivas. Para ello se lo explicó con la siguiente anécdota de Rajib el alumno que no quería ir al colegio y que se resistía y le lloraba a la mamá para no ir al colegio. La mamá espera el bus de regreso del colegio y Rajib venía feliz, muy distinto a como se había ido. La mamá le pregunta intriguada a Rajib de qué le había pasado en el colegio y Rajib le contesta: Mamá, “una cosa bien distinta es ir al colegio y otra es volver del colegio”.

Según Jorge esta anécdota le enseñó la importancia de la dimensión cultural en los Programas de Desarrollo Tecnológico: High Tech – High Touch.

En el 2017 Jorge presidió la Comisión Formación de Ingenieros del Instituto de Ingenieros, que dio origen a la importante publicación “La Formación de Ingenieros Civiles en Chile”.

Jorge ha sido en su vida un permanente abridor de puertas, su término preferido, especialmente en tecnología, al que el país tiene que estarle muy agradecido, labor que este Instituto ha querido reconocer merecidamente con la Medalla de Oro 2019.

Muchas Gracias.

(Aplausos).

Después de la presentación, el ingeniero don Jorge Yutronic Fernández, recibió de manos del Presidente del Instituto la Medalla de Oro y Diploma de Honor. A continuación, tomó la palabra para agradecer la distinción recibida en los siguientes términos:

Sr. Jorge Yutronic F.

—Señor Presidente, estimados colegas, amigos, familia.

Me siento honrado por el Instituto de Ingenieros de Chile, por la determinación de mis pares, que a su rigor han añadido una dosis de benevolencia.

Me honra compartir con mis predecesores en este premio, quienes han hecho contribuciones destacadas a la ingeniería, a la Academia y al servicio público.

Agradezco a Rodolfo Saragoni por su presentación generosa, a Paz por su apoyo permanente e incondicional, y algo más como veremos.

Instituto de Ingenieros y los desafíos.

Me incorporé al Instituto en 1991 invitado por Raúl Alcaíno quien señaló: que en esta Casa cultivamos la excelencia en ingeniería para el servicio a Chile.

Este es un espacio valioso de la sociedad civil. Por su capacidad de encuentro y debate, su dinámica propositiva, su historia de aportes que nos compromete, como ha señalado Luis Nario: estrategias de electrificación de los años 30, industrialización de los 50's y, recientemente, de telecomunicaciones, bases medioambientales, formación de ingenieros en las universidades y varias otras.

En nuestro país estamos viviendo tensiones importantes de cambio social, económico, ambiental y político. Además de tecnológico.

El Instituto ha tratado con anticipación, a veces hasta 10 años, varias de esas tensiones y ha hecho propuestas para abordarlas. En 2002, nuestra obra “Chile supera la encrucijada” planteó expresamente qué al escoger el camino hacia un país desarrollado con bienestar para todos los chilenos, como nación debíamos hacer cosas diferentes en políticas públicas, en actuaciones de instituciones y empresas, en educación y otros ámbitos.

Más de lo mismo no bastaba en aquel entonces, ni menos ahora ante las tensiones que experimenta el país. La innovación es determinante.

¿Por qué es tan lento el tránsito desde las ideas y propuestas a la transformación y los resultados? ¿cómo resolverlo?

Mucho he reflexionado desde sobre esto. ¿Cómo hacer para qué desde la ingeniería, y sus aliados naturales (ciencia, matemática, arquitectura y tecnología), podamos contribuir más efectivamente y con mayor velocidad a Chile y las personas?

Explorando el mundo y construyendo una respuesta, nos encaminamos a la comprensión de una nueva forma de articulación de la ingeniería con el medio ambiente, la sociedad y lo artificial.

Y al desarrollo de un método y herramientas aptas para abordarla.

Este premio nos encuentra en un momento de trabajo intenso, quizás el mayor de toda mi vida profesional.

Honrarlo implica también cumplir esta obra.

A ello me refiero ahora.

Desplegado en el mundo: la imperiosa necesidad de darse cuenta y hacerse cargo.

LA ACOGIDA.

La vida se teje en encuentros en la familia, las amistades, las actividades profesionales y cívicas.

Rodolfo Saragoni ha expuesto aspectos de mi vida profesional; la mayoría de esas labores han sido originadas por invitaciones de otras personas.

Estoy enormemente agradecido de esa confianza.

Agradezco la acogida de: la Universidad de Chile y su cultivo de las bases científico tecnológicas, del bien común y el servicio público; Agustín León y Adriano Lagos en ENDESA, donde viví la efectividad de la ingeniería en el desarrollo del país; Fernando Concha, Ricardo Reich y muchos académicos en Universidad de Concepción donde experimenté el desarrollo libre del espíritu, la valoración del Estado de Derecho, la dinámica interdisciplinaria de campus y los proyectos tecnológicos con las industrias; SONDA: con Andrés Navarro y su notable liderazgo, Mario Pavón con su visión de valores en la empresa, Ricardo Majluf con su combinación de pragmatismo y buena fe, y decenas de profesionales brillantes como José Orlandini, Raúl Vejar, Cristián Correa, por su actitud positiva y constructiva, todos ellos volcados a construir una empresa tecnológica chilena de proyección internacional; CODELCO, decenas de ingenieros y ejecutivos desde los 70's, muy especialmente Juan Enrique Morales, miembro de su directorio, con su gran vocación de servicio y compromiso por una minería de calidad mundial que aporta a Chile; Enrique d'Etigny en CONICYT quién inició e inspiró el desarrollo de las políticas públicas en ciencia y tecnología en Chile, y en quién valoro su consejo y apoyo; Mauricio Sarrazin, Eric Goles, Rafael Correa y otros colegas con quienes construimos un dialogo renovador con la comunidad científico tecnológica en los 90's e inicio de los 00's; la maravillosa experiencia de construir FONDEF, EXPLORA y otros Programas con Edgardo Santibáñez, Haydee Domic, Victor Manríquez,

Neva Milicic, Patricio Velasco, Aracely Jaqueih, Ivon Palma; directivos y profesionales de CORFO comprometidos con la innovación y el emprendimiento, entre ellos Carlos Álvarez, Eduardo Bitrán; la CBC como referente de la información de calidad de las inversiones en el país, entidad pionera por la visión de Eugenio Varela y otros; la Fundación Chile, y su aporte determinante en la adopción tecnológica e innovación en el país; más de 20 instituciones de educación superior con las cuales he experimentado el afán de superación en la formación de personas y la generación de conocimiento (Universidad de Chile, PUC, UDEC, USM, UBB, UTALCA, UFRO, UNAB, U. AMERICAS, INACAP, DUOC, y otras); Ricardo Reich y el equipo de MINEDUC para lograr resultados notables de calidad en las universidades con Juan Music, Diana Veneros, Flora Machuca, Emilio Rodríguez, Daniel López, Paulo Solari, Juan Pablo Prieto, Heinrich von Bear; María José Lemaitre en el desarrollo de la acreditación de IES en Chile; la Agencia de Cooperación Internacional; Sergio Bitar y el Ministerio de Obras Públicas; el Consejo de Artes y Cultura; mis colegas en los emprendimientos KYBER, SYN, MOVILMASTER, TELE TAXI; los profesionales y ejecutivos de más de 100 empresas e instituciones que han valorado nuestro trabajo en Chile y el extranjero; más de 20 estudiantes de ingeniería que confiaron sus tesis de título, magister y doctorado; colegas y amigos Stefano Sigala, Alfredo Ibáñez, David Cuper, Rolando Morales, René Fuenzalida con quienes fuimos pioneros en la automatización digital en la minería; Roberto Hojman y nuestra colaboración para mejorar la educación en matemática; Juan Pablo Mena en U Planner para proyectar Data Science a las universidades en el continente; Natalia Yutronic en el desarrollo de herramientas de nueva generación para educación superior.

Agradezco a todos ellos, los aprecio.

Con unos y otros vivimos experiencias que cambiaron nuestras vidas, las de muchos otros e hicimos aportes al país.

Aprendimos a desarrollar software en tiempo real, fabricar instrumentos y equipos electrónicos, dispositivos robóticos, integrar sistemas complejos, automatizar plantas industriales, mineras, energía; implementar sistemas de tráfico urbano, logística, comunicaciones, de modernización del Estado.

Aprendimos a formular e implementar políticas públicas en ciencia, tecnología, innovación y educación superior para el progreso de Chile. desde FONDEF y EXPLORA hasta convenios de desempeño universitario e ingeniería 2030.

Aprendimos a apoyar a las IES para que aumenten su calidad, equidad e innovación con foco en los estudiantes. En particular en los ámbitos de ingeniería, tecnología y ciencias.

FUNDAMENTO E HILO CONDUCTOR.

Esta dinámica itinerante, laboral e intelectual en décadas tiene fundamento e hilo conductor.

El fundamento: la familia que hemos formado con Paz, nuestros hijos Catalina, Jorge y Natalia, y con Nicole y Javier. El trabajo profesional como expresión de valor de la vida familiar, donde los logros y aportes de cada uno los entendemos como de todos.

Paz siempre pregunta ¿Qué estás haciendo? ¿para qué sirve? ¿a quién le interesa? Créanme: esas preguntas requieren respuestas valiosas para todos.

El hilo conductor es la identidad de ingeniero formada en la niñez, cuando Tomás, mi padre, y su hermana Ljuba, señalaban mi predilección por la matemática y el dibujo.

Un episodio de la vida familiar lo refleja: quinceañeros, mis hermanos y yo, realizábamos nuestro campeonato de lucha libre. Un salto del hombre águila desde el techo al ring cama, produjo su ruptura ruidosa e irremediable. Al volver del trabajo, padre dijo: tenemos un problema, tú ingeniero y tus hermanos resuélvanlo, construyan una nueva cama, que sea mejor que la anterior con el mismo costo. Madre Safira consternada. No hubo recriminaciones, solo una determinación a la acción. hicimos el diseño, el cálculo y compra de materiales. Subiendo afanosamente con un teclé las pesadas y largas tablas al departamento, padre dijo: Jorge debes darte cuenta, esa madera esta húmeda y no es bonita. **Debes darte cuenta.** Todo de nuevo, ahora el presupuesto no alcanza. Nuestra creatividad se puso a prueba: entonces Iván (QEPD) plantea una idea audaz: fabricar las prensas en vez de comprarlas. Ahora todo funciona, la mesa del comedor se transforma en un banco de carpintería por varias semanas, y al progresar la obra, la consternación de madre va cediendo a una resuelta alegría. Finalmente, la cama está terminada, es más resistente y más bonita, todo está limpio. En ese momento de satisfacción, ella preguntó con preocupación: ¿Así van a dejar la mesa? mientras nosotros la veíamos limpia y ordenada, ella veía los efectos de formones y gubias, no era aceptable. Nuevamente, no me había dado cuenta. De inmediato abordamos el tratamiento de superficie. Fue un caso de éxito de adolescentes trabajando en equipo, luego mostrado con orgullo a las visitas.

Este episodio familiar nos enseñó: dado un problema, genera una solución; **la importancia de darse cuenta y hacerse cargo**; la efectividad de un equipo; la limitación de recursos motiva la creatividad; la existencia de efectos inesperados; la matemática y el diseño funcionan, **la ingeniería está confirmada.**



Don Jorge Yutronic con su Sra. Esposa e hijos.

Algo importante ocurrió en aquellos años en el encuentro con otras personas: los profesores y los compañeros. Estudiaba en el Liceo 14, hoy Liceo Juan Gómez Millas. Ellos abrieron unas puertas hacia mundos nuevos, mundos cuya existencia ignoraba. Vienen a mi memoria Teresa Espoz, Profesora de Castellano con su rara combinación de rigor y alegría. Nos motivó a leer, primero el Cid, luego el Quijote y a compartir los mundos de los personajes que habitan los libros. Edgardo Soto, Profesor de Filosofía y Psicología, nos mostró el mundo de las ideas y los pensadores, la de argumentación con fundamentos.

Ellos y otros profesores estaban comprometidos con formar ciudadanos y tenían un genuino interés en que aprendiéramos y nos superáramos.

Los compañeros, con quienes cultivamos la camaradería, las buenas intenciones y nuestros entusiasmos. agradecidos de ese legado, el Centro de ex estudiantes nos reúne para valorar esa obra y apoyar las nuevas.

Esta dinámica con profesores y compañeros logró nuevas alturas en la Universidad de Chile. Estaba rodeado de talentos por doquier; en “la Escuela” se experimentaba la aventura del conocimiento desde física, matemática y ciencias de la ingeniería hasta economía, humanidades y la naciente computación. Y el devenir de Chile.

Adopté la ingeniería eléctrica inspirado en Nikola Tesla, la vocación de llevar la electricidad a todos. Electromagnetismo, máquinas eléctricas, sistemas de potencia, redes, sistemas digitales y otros; cada profesor abría una puerta a mundos casi mágicos, impresionantes.

Algo mayor sucedió: la presencia del académico Guillermo González y luego Jorge Aravena y Aldo Cipriano. La puerta del control automático fue abierta: los máquinas y sistemas

artificiales se controlan; el mundo biológico se autocontrola; también los sistemas sociales. Desde la genética de plantas hasta una nave espacial que llega a la luna y regresa.

La ingeniería en su máxima expresión. Guillermo González trabajaba modelando y simulando la molienda de minerales de cobre en el teniente. La minería era abordable desde esa perspectiva, una semilla de lo que hoy llamamos smart mining. Así pudimos cultivar esta disciplina transversal. La Universidad de Chile promovía la autonomía de sus estudiantes, tenía una buena vinculación con las empresas, parte de sus profesores provenía de ellas y estaba avanzada en tecnología.

El hilo conductor se unió al fundamento. Solía estudiar con mi compañero y amigo, Marcos Fernández; pronto estaba enseñando matemática a su hermana, Paz. El tema: resolver ecuaciones de segundo grado. La aprendiz responde no existe raíz cuadrada de -4 ; insisto que sí, que es $2i$, un número imaginario. Incredulidad y desconcierto: ¿existe o es un número imaginario? en ese debate juvenil de súbito un salto cuántico, ortogonal al plano de la razón: el surgimiento del amor.

Así descubrí otro inefable poder de la matemática.

Hilo conductor (la ingeniería) y el fundamento (la familia) han sido los ejes de mi vida.

Y así abordé el desafío que narro.

El gran desajuste de la ingeniería.

LA INVOCACIÓN.

2011 año crítico. UNESCO exhorta: los ingenieros deben hacer más para que la humanidad pueda resolver los desafíos del milenio, en particular del desarrollo sostenible. En todos ellos la ingeniería tiene responsabilidad y unos roles críticos: cambio climático, pobreza, agua, energía, infraestructura, vivienda, y otros.

Pensé: ¿todavía se nos pide más?; trabajamos todos los días, siempre ocupados en mejores obras de ingeniería. Y, aun así, no están resueltos los desafíos, y algunos ni siquiera están adecuadamente abordados.

¿Entonces, qué hacer?

Por cierto, no podía ser más de lo mismo, ni mejor de lo mismo. Debía ser algo diferente. ¿Qué nos separa de hacer una contribución mayor y determinante?

EL DESAJUSTE EN PERSPECTIVA.

Veamos en perspectiva el gran desajuste, la brecha abismal de la ingeniería.

A la par de los notables logros de la ingeniería actual, que transforma la vida en el planeta, podemos observar a escala mundial que existen: efectos colaterales (sociales, ambientales), costos elevados, errores de diseño e implementación, esfuerzos en problemas poco relevantes, no tratamiento de problemas relevantes de la sociedad, atraso en el uso del estado del arte científico tecnológico, faltas éticas.

La ingeniería siempre se ha visto enfrentada a opciones en sus respectivos contextos. pueblos y sus culturas han actuado de modo diferente frente a similares opciones de ingeniería.

La historia pone de manifiesto muchas actuaciones singulares. mientras Roma construyó más de 80.000 km de caminos, proyectando la cultura greco-romana por doquier, japon limitó deliberadamente la construcción de caminos hasta el siglo XVII como prevención frente a posibles ataques. Mientras china concentró el uso de la imprenta de tipos fijos, de la cual fue su inventora, en las labores de gobierno, siglos después y ya en su formato de tipos móviles la imprenta se expandió en Europa a través de diversos emprendimientos, facilitando la expansión del libro y la alfabetización de las personas.

DIFERENTES DECISIONES FRENTE A SIMILARES OPCIONES DE INGENIERÍA.

Los tiempos han cambiado. antes, la mayoría de las decisiones eran solo tomadas por los gobernantes. Desde el siglo XIX, muchas decisiones de ingeniería son tomadas por empresas, instituciones diversas, personas. Nunca el ejercicio de la ingeniería ha estado tan descentralizado como en el siglo XXI.

Hoy, los ingenieros tienen mucho más poder que antes y lo expresan con sus obras, procesos y productos. Esto conlleva una gran responsabilidad.

En esta perspectiva, experimentamos avances, logros y fracasos. Sobre todo, estos últimos ilustran mejor las hipótesis que no están bien formuladas. Lo que es necesario cambiar.

Todo esto se mostraba extraordinariamente complejo: el análisis de los proyectos de ingeniería (desde infraestructura vial y matriz energética hasta industria 4.0) y sus correlatos históricos. Era difícil darse cuenta de las causas raíces del gran desajuste.

Observaba la enorme asimetría entre la magnitud del propósito y las carencias personales. estaba confundido y extraviado.

LA CONEXIÓN VITAL Y LAS PREGUNTAS INTENSAS.

Trabajando en el diseño del Programa Ingeniería 2030, invitado por CORFO como respuesta a una orientación estratégica del CNID, Paz me pregunta por enésima vez: ¿Qué estás haciendo? ¿para qué sirve? ¿a quién le interesa todo eso? y le digo Paz de la Concepción: estoy diseñando un nuevo método de ingeniería para que las personas vivan mejor. Solo en ese momento me di cuenta que el nombre de mi esposa es fundamental en la ingeniería, como componente del enfoque universal CDIO (concepción, diseño, implementación, operación). Siempre había estado conmigo y llegó el momento de abordar la concepción. El diseño se derivaba de ella.

Ahora debía cultivar la dinámica de concebir. Las preguntas son más intensas: ¿Cuál es el problema a resolver? ¿cuál es el no - problema? ¿qué es lo que está expresado en la realidad? ¿qué es lo que está latente, implícito, tácito?

¿Cuándo se dice que falta infraestructura, es en la ciudad donde migran las personas o en las que abandonan?

¿Incorporar más autos a una ciudad o mejorar el transporte público o hacer más atractivas para vivir las pequeñas ciudades que se están despoblando o una combinación inteligente de esas opciones?

En el mundo, las políticas públicas asociadas a ingeniería van usualmente rezagadas respecto de las necesidades y expectativas de la población, particularmente en latino américa. Muchas razones. Siempre ha sido así, por su carácter reactivo.

Antes: la construcción del Canal de Panamá y del Canal de Volga – Moscú cobraron miles de vidas, y la represa Hoover más de cien. Esas obran habrían sido impensables con las exigencias actuales de seguridad y salud.

Recientemente: las plataformas digitales de economía compartida han puesto en jaque las regulaciones de muchos países sobre transporte público, hotelería, comercio y otros.

Hoy: algunos video juegos y sistemas de inteligencia artificial provocan efectos negativos en la salud y el comportamiento de las personas, incluso adicciones. ¿Queremos eso?

Estos y otros casos nos invitan a reflexionar sobre la participación de la ingeniería en ellos. y también de la tecnología y la ciencia.

Nuestros poetas ayudan a anticipar unas comprensiones. Pablo Neruda, en su ascenso a Machu Picchu desde los meandros del Urubamba, pregunta “piedra en la piedra, ¿el hombre donde estuvo?”. Gabriela Mistral, en el placer de servir, invoca “dios tiene su vista puesta en nuestras manos y nos pregunta cada día ¿serviste hoy?, ¿a quién?”.

La ingeniería está en el foco de estas cuestiones. la brecha abismal es amplia y profunda. Mientras más se alza la ingeniería con sus imponentes realizaciones para el progreso de la humanidad, más queda de manifiesto la desconsideración de muchos.

La necesidad de un nuevo paradigma.

EL ARTEFACTO.

Responder este tipo de interrogantes nos reclama otro paradigma y, previamente, una comprensión profunda.

Invita a la exploración de lo existente, más allá de lo meramente manifestado. Revisitar los fenómenos de la naturaleza (la materia inanimada, la vida), el ser humano y sus culturas, lo artificial (lo construido). Y las articulaciones entre ellos.

Se requiere reeducar y profundizar los sentidos y desarrollar otros.

Científicos e ingenieros exploran desplegados a través del planeta y en el espacio exterior, plataformas con sensores por doquier ahora potenciadas con la internet de las cosas, la data fluye en volúmenes sin precedentes.

Sus ojos son nuestros ojos, sus oídos nuestros oídos, los radares y sonares nuevos sentidos. Aumentamos la realidad y simulamos con realidad virtual. Hoy podemos ver lo que nuestros antepasados no podían: desde alturas y distancias remotas, los mundos micro y nano, el pasado distante habla a través de la arqueología y otras ciencias, proyectamos el futuro.

Las preguntas conductoras de la búsqueda de la comprensión profunda: ¿qué realmente está ocurriendo? ¿qué estamos realmente haciendo?

Este afán exploratorio conduce a ver algo que está presente, que se manifiesta todos los días a través de entidades sensibles. Como un bosque se expresa en sus árboles, su flora, su fauna, sus cursos de agua. De ese mismo modo, si educamos y ampliamos nuestros sentidos, podemos ver una entidad mayor que llamo, por ahora, el artefacto.

Veamos un fragmento de ese artefacto, lo aeronáutico. En todo momento 500 mil personas están en volando, levantados sobre la faz de la tierra. Las personas tienen cada vez más motivos para viajar. Las aeronaves se desplazan coordinadas automáticamente por sus propios sistemas y por torres de control en miles de aeropuertos. Satisfechas muchas necesidades de transporte. Efecto invernadero aumentado. Exceso de carga turística en algunas ciudades induce el desplazamiento a otros lugares. La necesidad de más seguridad conduce al reemplazo de personas por algoritmos más confiables, que no se fatigan ni distraen. Los aeropuertos alteran la vida de las ciudades. Redes de universidades e institutos tecnológicos investigan en más de 30 países y se articulan con fábricas de aviones y de decenas de miles de sus componentes. ¿Qué de este fragmento controla realmente el ser humano?

Al ver este artefacto, suerte de ecosistema dinámico, podemos preguntarnos cuáles son los problemas relevantes a abordar en ingeniería: ¿aumentar la fabricación de aviones y la construcción de aeropuertos para atender el interés creciente de las personas por viajar a cualquier lugar? ¿mejores sistemas de telepresencia y realidad virtual para minimizar los viajes prescindibles? ¿materiales ultralivianos y turbinas más eficientes para disminuir los efectos y costos? ¿secuestrar carbono con mayor velocidad?

No es un viaje fácil. La comprensión que acostumbramos usar en ingeniería está basada en las causas raíces, de aquí el fuerte vínculo con la ciencia: ¿por qué? ¿por qué?

PROFUNDIZANDO LA COMPRENSIÓN: LA IMPORTANCIA DEL IMPAR.

Chuquicamata, décadas atrás. Estamos implementando un sistema de control digital de la planta de molienda, 5% de aumento de producción y hasta 8% cuando el algoritmo predictivo está estable. Simultáneamente, menor consumo de agua y de energía, y menor descarte de cobre en los relaves. Un logro. En ese vértigo de trabajo y entusiasmo, un hombre, operador de planta, mira extasiado una gran foto en la pared interior del edificio que muestra una playa. “No conozco el mar”, dice. Conmoción. Él era de aquellos que serían reemplazados por la automatización. Y no había sido considerado, salvo en la reasignación laboral. Entonces, dándonos cuenta de la necesidad de la inclusión de estas personas, ampliamos el enfoque. La educación de ellos para que logren competencias superiores, y evolucionen a labores más calificadas. Y, luego, basado en la creatividad de un colega, ampliar el diseño de la automatización para que la interfaz hombre – máquina sea amigable, en particular basada en métodos gráficos e icónicos, con lo cual se hace posible la continuidad laboral a niveles más altos de la operación de plantas industriales.

¿Qué diferencia tenía el primer diseño, orientado a la producción, y el segundo diseño que además consideraba las personas involucradas?: la consideración de las personas que no participan en las decisiones de ingeniería, pero que luego viven los efectos de ellas (que denominé los impares, en oposición a los pares profesionales).

El episodio que ha narrado Rodolfo Saragoni sobre mi experiencia en Delhi respecto de sistemas de monitoreo de alimentos a nivel internacional, muestra que la ingeniería sirve no solo para abordar la mejor nutrición de millones de personas en India, sino que también para hacer partícipes a muchos de la experiencia transformadora de superación material personal, en culturas que tienen limitada esa posibilidad.

Estos y otros episodios ponen de manifiesto **la importancia de considerar al impar en la ingeniería**. Otras concepciones. Otros diseños.

Sigma, propuesta de método renovado de ingeniería.

EL IMPAR EN EL MÉTODO.

Ahora la base del método está completa: a las habituales preguntas de la ingeniería ¿por qué? ¿qué? ¿para qué? ¿quiénes? ¿cómo?, incorporamos un énfasis en ¿para quienes? la creación de valor es para todos y cada uno de los impares.

Veamos el uso de este enfoque.

Muchos problemas diversos se expresan hoy: productividad, calidad, cambio climático, inequidad, agua y otros. pues bien, desde esta perspectiva integradora todo ello puede ser considerado como parte de un mismo desafío.

Por ejemplo: problemas de energía, de agua y de alimentación son interdependientes, se deben resolver integradamente. nuevos alimentos nutritivos, saludables, de bajo consumo de agua y energía.

Por ejemplo: la digitalización, las tensiones de la transición laboral, los efectos en inequidad y exclusión, la búsqueda de mejor calidad de vida. todos esos procesos se pueden, y deben, abordar integradamente. Empresas que creen actividad humana de alto estándar.

Por ejemplo: los modos de habitar el planeta, las formas de despliegue del ser humano.

UN CASO CONCRETO: EXPLORACIONES MINERAS.

El enfoque convencional: exploraciones para encontrar un yacimiento grande, con alta ley y fácil de explotar. Restricciones: asentamientos humanos, agua, impacto medioambiental, competencia por acceso a la propiedad minera.

El nuevo enfoque: sinergia de medianos yacimientos, no solo grandes; colaboración entre empresas; exploración minera articulada simultáneamente con exploración arqueológica; protección de la biodiversidad, integración con recursos agua y energía; accesibilidad inmediata a conocimientos y técnicas (desde satélites y drones hasta métodos de data science); articulación con las comunidades y sociedad civil; redes de investigadores en Chile y en el mundo; modelos de valoración de yacimientos; inversión minera articulada con procesos de innovación tecnológica; propiedad minera y transición a nuevo marco legal. Todo digitalizado, con opciones simultáneas de acceso y uso. Para los pares y los impares.

Es complejo a nivel de ingeniería de disciplinas o ámbitos fragmentados. Complejidad abordable con herramientas efectivas para que ingenieros y otros profesionales amplifiquen la creación de valor en sus quehaceres, articulándose.

Imaginemos estas herramientas como módulos integrados sistémicamente, aptos para **darse cuenta de la realidad completa y hacerse cargo de los desafíos**, más allá del ámbito disciplinario de cada cual.

PODER Y RESPONSABILIDAD DE LA INGENIERÍA.

La experiencia muestra que la convergencia temática y el alineamiento de actores ocurren cuando se genera valor para todos. Juego de suma positiva con umbrales asegurados. En otros casos es mejor suspender el proyecto tempranamente o ampliar sus alcances hasta que genere valor suficiente.

Con este enfoque, el ingeniero y otros profesionales tienen la obligación de saber y actuar a tiempo, no solo en su ámbito disciplinario o interdisciplinario. Así pueden actuar en forma diligente con calidad y efectividad. Esto facilita la autoorganización de las personas y aumenta su poder de realización, sin necesidad de esperar una nueva política pública o un nuevo proyecto de inversión empresarial, sino anticipando lo relevante y viable, con proactividad. La ética es su estándar.

Entonces, podemos abordar con más efectividad y simultaneidad los desafíos sociales, ambientales, económicos, tecnológicos.

Decía León Tolstoy: “para cambiar el mundo, cambia tú primero”.

En ingeniería facilitamos los cambios usando herramientas, métodos y sistemas. Arquímedes, solía decir: “con palancas podemos mover el mundo”.

El método propuesto, que denominamos Sigma, está concebido como una palanca para movilizar la energía transformadora de las personas que se integran, con ocupaciones, necesidades, intereses y expectativas diferentes, capacidades de aporte diferentes. canalizando con efectividad, calidad y velocidad.

Ello es posible. Lo hemos verificado.

Sigma, letra griega en su versión mayúscula, la usamos en matemática como símbolo de la suma, podemos decir de la consideración de todos. En su versión minúscula, es símbolo de la dispersión estadística, variación en torno a un valor, y motiva al trabajo de producir convergencias.

Más aún, en física, sigma es símbolo de la conductividad eléctrica y de la radiación térmica; simbolizando el flujo energizador y su impacto.

Propiedades simultáneas de un método para contribuir a superar el gran desajuste de la ingeniería frente a los desafíos de nuestro tiempo.

Estimados colegas, amigos, familia: he querido compartir con ustedes estas ideas y propuesta.

Es posible un mayor y mejor aporte de la ingeniería al desarrollo de Chile y al bienestar de las personas. En particular, en estos singulares momentos que vivimos.

Sin buenos métodos y herramientas, las aspiraciones de mejora se marchitan en su irrealizabilidad. Con buenas herramientas, ellas se materializan con donaire.

Señor presidente, cuando me anunció este premio le señalé de inmediato que implicaba para mí una gran responsabilidad. Honrar la confianza y perseverar en esta misión.

Ahora, la reafirmo.

Muchas gracias a todos por su atención.

(Aplausos).

PREMIO
“AL INGENIERO
POR ACCIONES
DISTINGUIDAS -
AÑO 2019”

Al Ingeniero
Sr. Alfredo Moreno Charme



Don Alfredo Moreno Charme, recibe de manos de don Luis Nario, Presidente del Instituto, el premio “Al Ingeniero por Acciones Distinguidas - Año 2019”.

El pasado 3 de octubre de 2019 se realizó en el Salón de Actos del Instituto de Ingenieros, la ceremonia solemne de entrega del premio “Al Ingeniero por Acciones Distinguidas - Año 2019”. Este año recayó en el Ingeniero Sr. Alfredo Moreno Charme.

La ceremonia contó con una gran concurrencia de personalidades del mundo académico y profesional. Don Luis Nario Matus, Presidente del Instituto, inició la ceremonia con una breve intervención relativa al significado de este premio, y explicó el especial merecimiento del galardonado de este año. En seguida, siguiendo la tradición, el Ingeniero Rodolfo Saragoni H., quien recibiera este Premio el año 2018, presentó una síntesis de los aspectos más destacados de estas acciones distinguidas, en los siguientes términos:

El Presidente.

—La labor del Instituto, que este mes cumple 131 años de existencia, incluye entre sus tareas más gratas e importantes, la de reconocer los méritos de algunos de nuestros colegas, que se destacan en diversas etapas o aspectos de su vida profesional. Para el Instituto siempre es una gran ocasión celebrar los logros y merecimientos de los ingenieros que se hacen acreedores a estos premios, y también por la satisfacción de reconocer y valorar a quienes han hecho una contribución importante a la sociedad en que vivimos.

El reconocimiento de los méritos profesionales y personales por parte de sus pares ha constituido siempre un importante acto social, presente ya en las civilizaciones más antiguas. Lamentablemente en nuestro país, al parecer como consecuencia de nuestra particular idiosincrasia, este reconocimiento de los méritos por parte de los pares no ha sido una costumbre muy difundida. Conscientes de este hecho, el Instituto de Ingenieros pocos años después desde su fundación tomó la iniciativa de distinguir a algunos de los ingenieros que se han destacado en determinados aspectos de su ejercicio profesional.

Sin embargo, no debemos olvidar que la mayor importancia que tienen estos reconocimientos es que a través de los mismos, la sociedad y en nuestro caso la comunidad de los ingenieros civiles, proponen un modelo y ejemplo a seguir por las nuevas generaciones de profesionales.

El premio “Al Ingeniero por Acciones Distinguidas”, que se otorga desde 1984, este año ha recaído en Don Alfredo Moreno Charme, y como es nuestra tradición, los atributos personales y profesionales de nuestros homenajeados serán dados a conocer por quien los antecedió en este galardón el año 2018, don Rodolfo Saragoni.

Sin embargo, me parece relevante informar a ustedes los objetivos de esta distinción y los motivos que se invocan para otorgarla. Señala el Reglamento que el Premio se otorgará al Ingeniero que se hubiere distinguido por haber desarrollado acciones distinguidas, en el campo público o privado, durante los tres años anteriores a los de su otorgamiento y para estos efectos, se consideran como acciones distinguidas aquellas que excedan el desempeño normal y eficiente de las labores habituales del ingeniero y que redundan en un beneficio evidente para el país, la sociedad, la profesión o el Instituto. Dichas acciones pueden consistir, a modo de ejemplo, en la dirección de una obra de ingeniería relevante en el ámbito nacional, o la implementación de un proyecto tecnológico importante, o el impulso de una iniciativa de servicio público que impacte

al país, o el particular realce que haya alcanzado en el país la labor normal que dicho ingeniero realice.

El Directorio del Instituto designa anualmente una Comisión, que se encarga de estudiar los antecedentes de los postulantes propuestos por nuestros socios, haciendo una selección para someterla posteriormente a la consideración del Directorio y del Consejo Consultivo del Instituto, que reunidos en sesión solemne y votación secreta discernen la persona del premiado.

La lista de galardonados es ya larga y está constituida por algunos de los ingenieros más brillantes de nuestro país. Este año recibirá el Premio “Al Ingeniero por Acciones Distinguidas” don Alfredo Moreno Charme, quién con su trabajo, sin lugar a dudas ha realizado una contribución notable a la ingeniería nacional y lo hace merecedor a la distinción que hoy le entregamos.

Extiendo mis más calurosas felicitaciones a nuestro premiado y su familia.

Sr. Rodolfo Saragoni H.

Sr. Presidente del Instituto de Ingenieros, nuestro galardonado Sr. Alfredo Moreno Charme, Sres. Directores del Instituto, autoridades que nos acompañan, familiares del galardonado, señoras y señores.

Es para mí un honor y un agrado presentar al ingeniero, académico, empresario, político y hombre público, que todos conocen por sus obras y quien actualmente se desempeña como Ministro de Obras Públicas, lo que nos retrotrae al ADN de la fundación de nuestro Instituto de Ingenieros en 1888, que corresponde al periodo del presidente José Manuel Balmaceda, un gobierno caracterizado por la realización de grandes obras públicas, ya que en 1890 el presupuesto del Ministerio de Industrias y Obras Públicas representaba el 31,5% del presupuesto nacional.

Cabalgaban unos huasos junto a un joven inglés al que le iban a mostrar cómo se explotaba una mina de cobre en Chile en las cercanías de Jahuel. El joven inglés escribió al día siguiente en su diario “El huaso bajo ninguna circunstancia considera como superior a otros hombres...y quedé bastante sorprendido al descubrir que mis compañeros no quisieron comer conmigo al mismo tiempo. Este sentimiento de desigualdad...” Charles Darwin, diario “El Viaje del Beagle”, 17 de agosto de 1834.

No me cabe ninguna duda que el huaso Alfredo Moreno, por sus bien conocidas características humanas, habría comido junto al joven nobody inglés Charles Darwin.

Alfredo Moreno Charme nació en Santiago el 4 de agosto de 1956, hijo de Gloria Charme Montt y Alfredo Moreno Aguirre quien se desempeñó en el negocio de los alimentos, y que falleció en 1970, cuando Alfredo Moreno tenía solo 14 años, lo que le significó un duro golpe y una adolescencia con carencias.

Alfredo Moreno es casado con María Echeverría y tiene 4 hijos: Alfredo, Francisco, Felipe, Ana María y cinco nietos, quienes lo acompañan hoy día en esta ceremonia.

Mientras estudiaba en el Colegio San Ignacio El Bosque, desarrolló su vocación por el servicio público. Fue ahí donde empezó a participar en trabajos de verano y en numerosas actividades para ayudar a las personas más vulnerables.

En ese colegio desplegó su interés por la política y llegó a presentarse como candidato a la presidencia del Centro de Alumnos con el apoyo de la DC y parte de la izquierda. El resultado, según el Sr. Ministro, era una derrota previsible, pues el vicepresidente de la fórmula no era muy querido en el colegio.

En todo caso “la izquierda y la derecha unidas jamás serán vencidas” dijo Nicanor y ahí podría surgir una misteriosa segunda oportunidad.

Egresó del colegio como el mejor alumno y el mayor puntaje en el bachillerato. Esto último lo motivó con otros compañeros a la audacia de visitar a rectores y decanos de las universidades para indagar qué posibilidades les ofrecían dado su nivel de excelencia.

El caso de Alfredo Moreno era de vocación renacentista, pues le interesaban todas las carreras: derecho, ingeniería, economía, agronomía, con la única excepción de medicina, que era el solo deseo de su madre.

La búsqueda terminó con una oferta de la Universidad Católica, que le ofrecía una suerte de un actual bachillerato de pregrado.

El deseo del Aleph borgiano, de una visión universal, quedó truncado por el golpe militar, los profesores de la Pontificia fueron removidos de sus cargos y Alfredo Moreno tuvo que estudiar solo ingeniería civil industrial, siendo el mejor alumno de su generación.

Sin embargo, la Universidad Católica compensó su promesa de universalidad enviándolo becado a estudiar un MBA a la Escuela de Economía de la Universidad de Chicago. A su regreso a Chile fue profesor a tiempo completo en la Escuela

de Administración de la Pontificia Universidad Católica entre los años 1982 y 1985.

Tras su regreso a Chile en los 80's fue invitado a participar en numerosos directorios de empresas, entre ellas Banco Chile, DERCO, Falabella, Mall Plaza y SODIMAC. Presidió el Instituto Chileno de Administración Racional de Empresas (ICARE) en el periodo 2005 – 2006. También fue Director y Presidente de la Fundación Teletón entre 2008 y 2010.

En 2010, cuando el Presidente Sebastián Piñera iniciaba su primer gobierno nombró a Alfredo Moreno como Ministro de Relaciones Exteriores, cargo que ocupó hasta 2014, volviendo después al mundo empresarial, pero no por mucho tiempo.

En 2017, Moreno fue elegido el máximo representante de la Confederación de la Producción y el Comercio (CPC), cargo gremial que tuvo hasta los inicios de 2018.

Durante este periodo fue su iniciativa de colaboración 3xi: “inspirarnos, incluirnos, innovarnos”, plataforma que impulsó en el mundo privado con la intención de que se transformara en un punto de encuentro para quienes abordan los desafíos del país. Por ello organiza encuentros que faciliten la interacción entre la sociedad civil, los emprendedores, el mundo político y los empresarios.

En diciembre del año pasado, ICARE le otorgó el Premio ICARE 65 años por su contribución al dialogo social y la unidad del país.

En 2018 fue contactado nuevamente por el Presidente Sebastián Piñera, en esta oportunidad para liderar el Ministerio de Desarrollo Social, en un segundo mandato.

En este cargo fue parte del Acuerdo Nacional por la Araucanía, para establecer instancias de dialogo, facilitar los acuerdos e impulsar el desarrollo en la región.

La Araucanía ha sido una zona compleja por su histórica característica guerrera, que hace que los chilenos no podamos decir donde yacen los restos del conquistador Pedro de Valdivia, como lo hacen los otros países hispanoamericanos.

Evidentemente para el Ejecutivo lograr un avance en la problemática de la Araucanía era una cosa muy importante, sin embargo, una situación policial inesperada hizo cambiar completamente el escenario retrotrayéndolo casi a su raíz histórica.

El Presidente Sebastián Piñera lo designó Ministro de Obras Públicas en junio de este año.



Don Alfredo Moreno Charme, Premio “Al Ingeniero por Acciones Distinguidas - Año 2019” con don Luis Nario Matus, Presidente del Instituto de Ingenieros de Chile y don Rodolfo Saragoni, galardonado con el mismo premio el año 2018.



Don Alfredo Moreno en compañía de los Sres. Alexander Chechilnitzky, Luis Nario, Rodolfo Saragoni, Carlos Mercado y Mauricio Sarrazin.

Para el otorgamiento del Premio de Acciones Distinguidas la Comisión ha considerado su promoción del Acuerdo por la Infancia, que promueve el desarrollo integral de todos los niños y niñas de nuestro país; la Red Clase Media Protegida, Programa orientado a prestar ayuda a ciudadanos que enfrentan eventos de salud de alto costo, un periodo de larga cesantía, entre otros y el Compromiso País, programa que busca generar oportunidades para todos los chilenos, elaborando un mapa de vulnerabilidad.

El Ministro Moreno tuvo una histórica presentación en 2016, con su escuadra ecuestre Las Palmas de Peñaflor, presentación privada para la Reina Isabel II y el príncipe Felipe, Duque de Edimburgo en el palacio de Windsor, en que tuvo oportunidad de conversar con la Reina y el príncipe Felipe, confirmando que Alfredo Moreno Charme es el excepcional ser humano que un día habla con los reyes y que otro habría comido junto con el joven inglés Charles Darwin borrándole así su sentimiento de desigualdad.

Muchas gracias.

(Aplausos).

A continuación, el Ingeniero Sr. Alfredo Moreno Charme recibió de manos de don Luis Nario Matus, Presidente del Instituto, la Medalla Recordatoria y el Diploma de Honor. Enseguida, agradeció la distinción en los siguientes términos.

Sr. Alfredo Moreno Charme.

—Primero, quisiera agradecer sinceramente el premio que hoy se me entrega. Es un orgullo para mí ser reconocido por una institución tan destacada y con tanta trayectoria como el Instituto de Ingenieros de Chile, con una historia de más de 130 años aportando al país, y con un premio que han recibido personas tan destacadas como: Hernán Büchi, Andrés Navarro, Nelson Pizarro, Bruno Philippi y Nicolás Majluf.

Decidí ser ingeniero hace muchos años, exactamente 46. Salí del Colegio el año 1973 en una época de mucha agitación social y política. No era fácil decidir que estudiar porque me gustaban muchas carreras: quería estudiar ingeniería, economía y derecho. Sólo la medicina – a mi mamá le habría encantado que yo fuera doctor - estaba descartada.

Y lo primero que me hizo decidirme por la ingeniería fue algo que me dijo uno de los directivos de la Facultad de Ingeniería de la UC cuando fui al proceso de admisión y matrícula. “Los ingenieros pueden hacer de todo”, me dijo, graficando lo que

ahora me parece totalmente acertado: la ingeniería entrega una forma de pensar, de abordar los problemas y de buscar soluciones adecuadas, que se puede aplicar a la más diversas áreas del mundo laboral.

Otra razón que me hizo inclinarme por la ingeniería en la Universidad Católica es que, por haber tenido buen rendimiento en el colegio y la prueba de admisión, estuvieron dispuestos a cumplir en algo mi deseo inicial: acordamos que estudiaría ingeniería como carrera base, pero con la flexibilidad de también estudiar economía y algunas áreas del derecho. La idea era ser algo así como un “ingeniero económico”.

Pero unos meses después del golpe de Estado, las cosas cambiaron y también cambiaron las personas con las que había llegado a esos acuerdos. Habiendo terminado los dos primeros años de Ingeniería fui a ver cómo continuar con la flexibilidad, y la respuesta fue rotundamente negativa. Las nuevas autoridades no respetaron el acuerdo, y decidí empezar a estudiar economía por mi cuenta, lo que luego me llevó a ganarme una beca para estudiar en Estados Unidos y al regreso ser académico en esa Facultad.

Habiendo ya pasado muchos años desde esa época, mi primera reflexión es que aquel directivo que me dijo que los ingenieros pueden hacer cualquier cosa, tenía toda la razón. Durante mi trayectoria profesional he tenido la oportunidad de dirigir las más diversas industrias, como bancos, isapres, líneas aéreas, editoriales, radios y clínicas, entre otras. Como Presidente CPC, ICARE y Teletón. Además, de haber podido aportar en el sector público como Canciller, Ministro de Desarrollo Social y Familia, y ahora como Ministro de Obras Públicas del Presidente Sebastián Piñera. Y, mi formación como ingeniero ha sido de gran utilidad en todos esos campos.

Pero además de la técnica y los conocimientos que se pueden aprender en la educación formal, yo rescato de mi paso por el San Ignacio, la Universidad Católica y la Universidad de Chicago, un aprendizaje que tiene un trasfondo mayor: intentar siempre hacer las cosas bien, poner los mejores recursos disponibles para que las cosas funcionen, pasión, y de esta forma poder ir haciendo un mejor país. Me enseñaron a poner siempre a Chile primero. Chile y su gente.

Y ese objetivo de aportar a Chile desde el desarrollo profesional, no me cabe duda que es también la misión principal del Instituto de Ingenieros de Chile, que se fundó en 1888 durante el mandato del Presidente José Manuel Balmaceda, en medio del impulso que dicho Gobierno dio a las obras públicas con la construcción de escuelas, ferrocarriles, alcantarillados y caminos. De hecho, fue durante el Gobierno

del Presidente Balmaceda, en 1887, que se creó el Ministerio de Obras Públicas, sólo un año antes que el Instituto de Ingenieros.

Por eso me resulta importante estar aquí hoy recibiendo este premio, justo en momentos en que me corresponde liderar el Ministerio de Obras Públicas. En esa época el país tenía un gran desafío en materia de conectividad e infraestructura, y los ingenieros fueron protagonistas de esa importante tarea. Hoy, más de 130 años después, como país también tenemos un desafío de la mayor relevancia, y Chile necesita a los ingenieros para enfrentarlo de la mejor manera posible.



Invitados, Sres. Bruno Behn, Cristian Hermansen, Marcos Lima y Carlos Mercado.

Para nadie es un misterio que, producto del cambio climático, estamos viviendo, como país, una sequía estructural, una de las más grandes desde que existen registros. Aún no conocemos totalmente la magnitud del desafío, pero ya estamos sufriendo sus consecuencias: disminución en las precipitaciones y los caudales de los ríos, derretimiento de glaciares, escasez de agua para la agricultura en muchos sectores, y lamentablemente también algunos problemas de abastecimiento para consumo humano, principalmente en zonas rurales.

Y la verdad es que a pesar de la disminución relativa hay agua, pero es más difícil ir a buscarla. El Presidente del Instituto de Ingenieros, Luis Nario, lo decía claramente en una carta a El Mercurio este lunes: “La mayor disponibilidad del recurso hídrico en el tiempo estará asociada con una mayor capacidad de almacenamiento de dicho recurso y una mayor eficiencia en su aprovechamiento”. Y agregaba: “Chile requiere de la minería, la agricultura, de la industria forestal. No hay ninguna razón para que el desarrollo no sea compatible con un uso racional y eficiente de recurso hídrico. Nuestro desafío como país es buscar ese equilibrio”.

No cabe ninguna duda que lo que plantea Luis Nario es un desafío para la ingeniería. Tenemos que enfrentar la emergencia, pero también buscar y almacenar el agua de manera distinta, poner a prueba nuestra creatividad y avanzar en la tecnología que sea necesaria para abastecernos de buena manera.

Lo maravilloso de la ingeniería, como expresión de la creatividad humana, es que cada vez que ha tenido enfrente un desafío de

esta magnitud, ha podido superarlo con éxito. Todos quienes vivimos la época de los 60 escuchamos hablar sobre el Club de Roma y su tesis sobre la escasez de alimentos que produciría el crecimiento de la población. Y bueno, todos vimos cómo en algunas décadas, producto de la tecnología, pasamos de ese problema a tener el exceso de ingesta calórica y la obesidad como una de las pandemias de la actualidad. Y ese es sólo uno de los tantos ejemplos que existen sobre el tema.

Hoy estamos en una situación parecida. El cambio climático que vivimos no tiene antecedentes, y por lo tanto no nos sirven los archivos ni las fórmulas conocidas para enfrentarlo. Hay que abordar las nuevas problemáticas con creatividad e innovación, y poner las manos a la obra para encontrar las soluciones que permitan revertir esa emergencia y adaptarnos a las nuevas condiciones del planeta.

Como ha dicho el Presidente Piñera, el cambio climático es, en buena parte, responsabilidad del ser humano, y es el ser humano el principal llamado a frenarlo y adaptarse a sus consecuencias. En esta tarea se necesitará más que nunca contar con todo el profesionalismo y el compromiso de los ingenieros.

Muchas gracias.

(Aplausos).

**PREMIO
“RAÚL DEVÉS JULLIAN
- AÑO 2019”**

Al Ingeniero
don Aldo Cipriano Zamorano



Sr. Aldo Cipriano Zamorano, recibo de manos de don Carlos Mercado Herreros, Vicepresidente del Instituto de Ingenieros de Chile, el premio “Raúl Devés Jullian - Año 2019”.

El viernes 11 de octubre de 2019, en el Salón de Honor del Instituto de Ingenieros de Chile, tuvo lugar la ceremonia de entrega del premio “Raúl Devés Jullian - Año 2019” al distinguido ingeniero don Aldo Cipriano Zamorano.

El Vicepresidente del Instituto, Sr. Carlos Mercado, dio comienzo a la ceremonia con una breve intervención aludiendo a la naturaleza del premio, su significado dentro del Instituto y en la comunidad de los ingenieros, y el especial merecimiento de don Aldo Cipriano Z.

A continuación, de acuerdo con lo que es tradicional, la presentación del galardonado estuvo a cargo de la Sra. Ximena Vargas Mesa, quien obtuvo este premio el año 2017.

El Vicepresidente.

—El premio “Raúl Devés Jullian”, se otorga cada dos años al ingeniero chileno que se haya destacado por su esfuerzo y trabajo en la enseñanza de la Ingeniería en Chile, y fue instituido en el año 1997 para honrar la memoria de ese destacadísimo hombre público e ingeniero, don Raúl Devés Jullian, Medalla de Oro de nuestro Instituto y miembro de su Consejo Consultivo, quien fuera distinguido Decano de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile y se destacara por su extraordinario espíritu innovador y liderazgo en el campo de la enseñanza de la ingeniería. Fue impulsor de una de las iniciativas de mayor trascendencia emprendidas en el país con el propósito de modernizar y desarrollar la enseñanza de la ingeniería, las que fueron determinantes para elevar la calidad de la enseñanza que se exhibe hoy en día en la Pontificia Universidad Católica de Chile. Dicha labor la realizó con su natural sencillez, expresando: “mi dedicación a la Universidad Católica viene de mi agradecimiento profundo por los valores y herramientas que me entregó”.

Todo lo anterior fue realizado en forma paralela a una importante actividad profesional y empresarial en el campo de la construcción.

De esta forma, don Raúl Devés fue una persona que desplegó un poderoso dinamismo empresarial y docente, que nunca conspiró contra sus nobles sentimientos de amor al prójimo y su gran sentido de sensibilidad social. Hoy, con ocasión de la entrega del premio que lleva su nombre, el Instituto de Ingenieros de Chile le rinde una vez más un sentido homenaje.

Para otorgar este premio, el Directorio del Instituto designa una Comisión que se encarga de estudiar los antecedentes de los postulantes propuestos por los socios del Instituto, y entrega una nómina de candidatos, que somete posteriormente a la consideración del Directorio y del Consejo Consultivo de la Corporación, que reunidos en sesión solemne y votación secreta, disciernen la persona del premiado.

El Premio Raúl Devés Jullian de este año, ha recaído en la persona de Aldo Cipriano Zamorano, Ingeniero Civil de la Universidad de Chile. Su presentación como es nuestra tradición, estará a cargo del galardonado con el premio en la versión anterior, doña Ximena Vargas Mesa.

De acuerdo con la tradición, la presentación del galardonado la efectuó la Ingeniera Sra. Ximena Vargas Mesa, quien obtuvo el Premio Raúl Devés Jullian, año 2017.

Sra. Ximena Vargas M.

—Es para mí un honor presentar al ingeniero Sr. Aldo Cipriano, quien ha sido galardonado con el premio Raúl Devés Jullian, que es otorgado por el Instituto de Ingenieros de Chile, al ingeniero chileno que se haya destacado por su esfuerzo y trabajo en la enseñanza de la Ingeniería en Chile.

Al revisar el currículum de Aldo Cipriano, se constata que se ha dedicado a la Educación en Ingeniería desempeñando una extensa actividad académica en los ámbitos tanto docentes como de investigación, extensión y dirección universitaria. Es difícil resumir en unas pocas líneas dicha actividad, pero trataré de hacerlo con la mayor fidelidad posible.

Quienes han trabajado con él reconocen su calidad humana y profesional en el ejercicio de todas sus actividades. A la vez, lo distinguen por su gran capacidad de trabajo, la calidad de éste y la importancia que ha tenido su participación tanto en la formación de ingenieros y de doctores en ciencias de la ingeniería como en el desarrollo y fortalecimiento de la Universidad Católica donde ejerció como académico por 45 años.

Como detallaré más adelante, a través de su participación en diversas actividades académicas, él ha fomentado renovaciones curriculares y nuevos métodos educativos en su universidad, hoy consideradas imprescindibles y vinculaciones entre docencia e investigación y universidad y empresa. Asimismo, se destaca su colaboración en la acreditación de Programas de Estudio a nivel nacional e internacional.

Aldo Cipriano confiesa 69 años, tiene 2 hijos y 3 nietos. Ingresó a la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile en 1967 y en el año 1973 obtuvo, con la calificación máxima, el título de ingeniero civil electricista siendo contratado como profesor-investigador en el Departamento de Ingeniería Eléctrica; al año siguiente, 1974, alcanzó el grado de magíster en ingeniería eléctrica en la misma universidad.

En su época de estudiante en la FCFM ya manifestó su interés por la docencia, iniciándose en 1969 como ayudante en el curso de Trigonometría y Geometría Analítica y participando activamente en las discusiones curriculares durante la Reforma Universitaria de 1970 donde se modificaron los planes y programas de estudio en la FCFM. Su compromiso y liderazgo, en dicha época, se exterioriza al ser posteriormente elegido como Presidente del Centro de Estudiantes de Ingeniería Eléctrica.

En 1974 es contratado como Profesor Auxiliar en la PUC, iniciando luego, en 1977, sus estudios de doctorado en Alemania, como Asistente Científico en la Technische Universität de

München, que finaliza en 1981. Entre 1981 y 1986 se desempeña como Profesor Adjunto de la Escuela de Ingeniería UC, alcanzando, en 1986, la jerarquía de Profesor Titular.

En 1986, asume como Jefe del Programa de Postgrado de la Escuela de Ingeniería UC y dos años después es nombrado Subdirector académico de la misma.

Entre los años 1988 y 1990 participa en el Consejo Asesor del Fondo de Desarrollo Productivo de CORFO, en el Consejo Superior de Desarrollo Tecnológico de FONDECYT e integra el Grupo de Estudio de Ingeniería I de FONDECYT. Esta última labor la retoma entre los años 1992 y 1995.

En la década de los 90, ejerce, primero, como Jefe del Depto. de Ingeniería Eléctrica y a fines de ese período (en 1998) es nombrado Decano de la Facultad de Ingeniería y Director de la Escuela de Ingeniería UC, cargo que ejerce hasta el año 2003. En esos años es, también, integrante del Directorio de DICTUC y de la Fundación San Agustín.

El académico e ingeniero Sr. Aldo Cipriano ha participado en Conicyt y CONAP primero como integrante (1996-1997) y después (hasta el año 2003) como Coordinador del Comité de Acreditación

de Programas de Postgrado y de Evaluación de Becas de Postgrado en Ingeniería. Asimismo, entre los años 2004 a 2017, le ha correspondido actuar como presidente de Comités de Acreditación de carreras de ingeniería eléctrica y electrónica de prestigiosas universidades de nuestro país (entre ellas la Universidad de Chile y la Universidad Técnica Federico Santa María). También en la primera década del siglo XXI, participa en el Comité de Área de Tecnología y Programas de Postgrado de la Comisión Nacional de Acreditación y es nombrado director Académico del Programa de Magister en Ingeniería “líderes para la minería” del Centro de Minería UC y Director de dicho Centro.

Desde el año 2010 a la fecha, ha ejercido cargos tales como vicedecano de la Facultad de Ingeniería y vicedirector de la Escuela de Ingeniería UC (2010 a 2012); como Presidente de DICTUC (2010 a 2014) y también como Director de Investigación e Innovación (2015) y Director de Postgrado (2015-2018). Ha participado también, como integrante del Consejo Consultivo de la Fundación Copec-UC (2015-2016) y ha sido Presidente del Comité de ética de la Escuela de Ingeniería UC.

Como representante del rector de la UC ha sido presidente de los Comités de Búsqueda de Decano de Facultades como Agronomía e Ingeniería Forestal, Medicina y Comunicaciones.

También, ha representado al rector en la Comisión de Calificación del Instituto de Estética (2014-2017).

En estos últimos años, desde 2017, ha colaborado en la Comisión Nacional de Acreditación como integrante del Comité Consultivo de Acreditación de Postgrado (2017-2018) e integrante de la mesa de Postgrado para definición de estándares de Evaluación de Programas Doctorales (2018). También es, actualmente, integrante del Comité de Evaluación Minería Virtuosa del Concurso FONDEF IDeA de I+D.

Asimismo, ha vuelto a tener el cargo de Presidente de DICTUC (2018-2019), ha sido nombrado como Director de Extensión, integra el Comité Directivo de UC Online y es Director del Departamento de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica en la Escuela de Ingeniería UC.

No me referiré a las actividades de investigación del profesor Cipriano ni a sus numerosas publicaciones sobre temas de Automatización y Control Inteligente y Predictivo de Procesos Industriales, pero terminaré esta parte con una mención a los reconocimientos que ha recibido:

- Ingeniero Eminente 2006. Otorgado por la IEEE Latinoamericana.
- Miembro de Número de la Academia de Ingeniería de Chile, desde 2010.
- Reconocimiento de CONICYT por la adjudicación de 10 proyectos del Concurso FONDECYT Regular en el período 1982-2012.
- Premio AIE-IEEE Ingeniero Sobresaliente 2012 por sus sobresalientes contribuciones en Ingeniería Eléctrica y Automatización y en Educación en Ingeniería y acreditación.

Quisiera comentar que, aunque de manera indirecta supe que, con frecuencia, sus ex alumnos relataban con aprecio el valioso impacto que había representado tanto para ellos como para la industria y la academia. Pude conversar con una ex alumna que me comentó sobre sus clases que, aunque algo teóricas, eran atractivas pues transmitía su gran experiencia acercando a los alumnos tanto a la investigación como a la profesión.

Finalmente, me gustaría destacar cuáles son las contribuciones a la educación en ingeniería que el profesor Aldo Cipriano considera más importantes: (reproduzco su opinión)

- “La formación, ya sea supervisando memoristas de título o tesis de postgrado o bien dirigiendo a ingenieros en proyectos de investigación, de unos 24 profesionales que en la actualidad se desempeñan o se han desempeñado como académicos en universidades.

- El impulso que dió desde el Decanato a la certificación internacional ante ABET de los diferentes Programas de Ingeniería que ofrece la UC, complementado con la participación desde sus inicios en los procesos de acreditación de Programas de Doctorado en Ingeniería, primero en CONICYT y después en la CNA, y culminando con la presidencia de diversos Comités de Acreditación Institucional.
- El desarrollo por más de 35 años de una línea de investigación en Automatización y Control Inteligente y Predictivo de Procesos Industriales, con aplicación preferente en minería, que condujo a 10 proyectos FONDECYT dirigidos como Investigador principal, todos aprobados, y proseguido con proyectos asociativos interdisciplinarios en que estas tecnologías (a las que se refiere como “tecnologías emergentes”) se aplican a transporte público (Proyecto Anillo) y gestión de desastres naturales (línea de investigación en Centro CIGIDEN de FONDAP).
- La transferencia a la industria de los resultados de estas investigaciones, de proyectos de innovación o de contratos de investigación financiados por la industria”.

Confiesa además que de aquí en adelante le motiva la gestión de empresas de ingeniería de base científica o tecnológica. Como se desprende de lo descrito, el profesor Cipriano ha contribuido significativamente a la formación de ingenieros y sus pares reconocen su capacidad de trabajo y sus extraordinarias cualidades de organización y eficiencia.

Me ha sido muy grato preparar esta presentación y felicito al profesor Cipriano por el premio que hoy recibe.

Gracias.

(Aplausos).

A continuación, el Ingeniero Sr. Aldo Cipriano Zamorano recibió de manos de don Carlos Mercado, Vicepresidente del Instituto, la Medalla Recordatoria y el Diploma de Honor. Enseguida, agradeció la distinción en los siguientes términos.



Don Aldo Cipriano junto a las Sras. Ximena Vargas y Rosita Devés, y los Sres. Carlos Mercado y Juan Carlos de la Llera.

Sr. Aldo Cipriano Z.

—Un agradecimiento muy especial a la Ingeniera Profesora Ximena Vargas, por su discurso de presentación y expresiones tan laudatorias para mi persona. Asimismo, agradezco al Decano de mi Facultad y a los ingenieros e ingenieras que tuvieron a bien respaldar mi postulación al Premio.

Al recibir este Premio debo consignar que gran parte de mi carrera académica, y por qué no decirlo de mi vida, descansa en el apoyo que experimenté de mis familiares y del entorno que me ha rodeado. Por ello, en este momento de alegría, recuerdo el soporte recibido en el plano personal: en primer lugar, de mis padres, quienes me dieron el sustento intelectual y económico que necesité para desarrollarme. De María Angélica, mi amiga y compañera por tantos años, quien ha estado a mi lado en todas las instancias.

De mi hermano, hijos, nietos, sobrinos, primos, familiares y amigos, a quienes he sentido cercanos y afectuosos.

En el plano educacional y académico, el recuerdo agradecido a mis profesoras de la preparatoria. A mis profesores del Instituto Nacional que me inculcaron disciplina y el interés por la ciencia. A mis profesores de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, en especial al Profesor Guillermo González, quienes me impulsaron y motivaron para seguir estudios de postgrado y una carrera

académica. A los profesores alemanes que fortalecieron mi visión sobre la importancia de la tecnología.

A los Rectores, Decanos, directivos y colegas de la Pontificia Universidad Católica de Chile y de su Escuela de Ingeniería, quienes me permitieron llevar adelante todos los proyectos e iniciativas que formulé en estos 45 años de actividad académica. Al personal profesional y funcionarios de Ingeniería UC y DICTUC, pues han facilitado que mis ideas se conviertan en realidad.

Mi agradecimiento se extiende a mis compañeros de universidad, siempre próximos. A mis alumnos y muy en especial a los memoristas, tesisistas e ingenieros de proyecto, chilenos y alemanes, que han sustentado mis investigaciones. A los profesionales que desde la industria se han esforzado porque estas germinen en resultados transferibles.

Para ellos y ellas, para quienes me han apoyado por tantos años en los ámbitos personal, educacional y académico, es este aplauso en el que les solicito acompañarme.

¿Quién fue Raúl Devés Jullian y qué rasgos distintivos le permitieron constituirse en un modelo de ingeniero para las generaciones futuras?

La primera pregunta me la formulé cuando apareció una placa con su nombre en el edificio principal de la Escuela de Ingeniería, edificio que comencé a frecuentar sólo unos años después de regresar de mi doctorado. La segunda pregunta data de enero de 1998, al ser electo Decano de Ingeniería UC.

Ambas preguntas parecen simples de responder, y para hacerlo se podría pensar que es suficiente reproducir el texto publicado en el portal del Instituto y que dice: “Este Premio se otorga cada dos años por el Instituto de Ingenieros de Chile al ingeniero chileno que se haya destacado por su esfuerzo y trabajo en la enseñanza de la Ingeniería en Chile”.

Mi opinión personal es que, si bien esta frase no se contraponen con algunos de los elementos que caracterizaron a don Raúl, es limitante pues existen otros aspectos relevantes en su vida académica, profesional y personal que dan cuenta de otras facetas, las que también merecen ser comentadas.

Comienzo entonces con los elementos más conocidos, los que se encuentran en un texto que fue mi libro de cabecera por varios años: Historia de la Pontificia Universidad Católica de Chile, 1888-1988, de Ricardo Krebs y colaboradores, así como en la publicación Ayer y Hoy, Escuela de Ingeniería UC, de Ponce de León, Rengifo y Vial, cuya preparación impulsé como Decano.

Nacido en 1917, estudió Ingeniería Civil en la misma UC, graduándose en 1941. Su actividad profesional la desarrolló fundamentalmente en el sector construcción, participando en más de 500 proyectos, entre ellos el Túnel Chacabuco, el Túnel Lo Prado, la ampliación del Estadio Nacional y la construcción de varias Estaciones del Metro. Fue Presidente del Banco del Estado, Director de la CORFO y Alcalde de Las Condes, y tuvo una activa participación en política, primero en la Falange Nacional y luego en el Partido Demócrata Cristiano, en el cual ocupó diversos cargos de relevancia. Obtuvo el premio Marcos Orrego Puelma y la Medalla de Oro del Instituto de Ingenieros de Chile. Sus intereses eran múltiples e incluían la poesía y la pintura.

Reconocido con el grado de Doctor Honoris Causa por la UC, su actividad en la institución incluyó la presidencia del Centro de Alumnos de Ingeniería, ayudante de varios cursos, profesor de la cátedra de Construcción, subdirector de la Escuela de Ingeniería, Decano de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, socio fundador de la Fundación de Ingenieros UC y Presidente del Club Deportivo de la Universidad Católica.

Según Krebs, “La Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas fue la primera en reaccionar contra la orientación de la universidad en torno a las profesiones, con la consiguiente dispersión de profesores y equipos, e hizo ver la necesidad de cultivar y enseñar las ciencias básicas de acuerdo con su propia naturaleza.

Bajo la enérgica e inteligente dirección del decano (1960-1968) la Facultad entró en una nueva etapa de su desarrollo. Las experiencias previas hicieron ver la necesidad de planificar sistemáticamente el futuro de la Facultad y de buscar nuevos y mayores recursos con el fin de colocar el estudio de la ingeniería en el nivel requerido por el avance científico y tecnológico y por los avances que estaba experimentando la industrialización del país”.

Un Plan de Desarrollo Preliminar, elaborado por Devés y sus colaboradores Luis Crisosto, Arnoldo Hax y Jaime Wizniak, fue presentado a la Fundación Ford la firmó un convenio de ayuda científica de tres años con la UC y la Universidad de California. Este Plan de Desarrollo Preliminar fue aprobado en una convención del Consejo de Profesores de la Facultad, efectuada en octubre de 1962 en la ciudad de Viña del Mar. Esta tradición iniciada por don Raúl, de salir de Santiago una vez al año para discutir los temas que más preocupan y motivan a los profesores, se ha mantenido hasta el día de hoy en la Escuela de Ingeniería.

El paso siguiente fue dar forma definitiva al Plan de Desarrollo destinado a “poner a la Facultad en condiciones de desempeñar con éxito el papel que le correspondía en el progreso tecnológico y en el crecimiento económico de Chile”.

El Plan, aprobado un año después, incluyó la formación de un cuerpo académico de profesores de jornada completa, con oportunidades para obtener el doctorado en las mejores universidades, la modernización de los planes de estudio siguiendo el modelo norteamericano, el desarrollo de programas de investigación científica y aplicada, y la construcción de un nuevo campus en San Joaquín, con sus laboratorios, salas de clases y oficinas. A este Plan de Desarrollo, concebido por don Raúl y sus colaboradores, debemos varios, sin haberlo sabido en su momento, la creación de las condiciones para que emigráramos a la UC y desarrolláramos en esta institución una carrera académica exitosa.

La construcción y posterior puesta en marcha del Campus San Joaquín, impulsada por don Raúl, constituye, según algunos, “el hecho material más significativo de la Universidad Católica desde su fundación”. Aunando recursos prestados por el Banco Interamericano de Desarrollo, donados por la Fundación Ford y aportados por la Universidad, se logró concretar, en un sitio eriazado legado por la hermana del primer Rector, una verdadera ciudad que hoy alberga a la mayoría de las facultades, facilitando de esta forma el contacto y trabajo docente y de investigación de las diferentes disciplinas que la UC cultiva.

Como integrante del Consejo Superior, el Decano Devés realizó también importantes contribuciones. Por ejemplo, en 1966, en la etapa previa a la reforma del Sistema de Educación Superior concibió, en paralelo a la propuesta que presentó el entonces Decano de Medicina y posterior Rector, Dr. Juan de Dios Vial Correa, una nueva organización académica y de los estudios. La propuesta de don Raúl se fundamentaba en que “la ciencia y la tecnología están indisolublemente unidas y toda formación técnica y profesional debe descansar sobre una amplia base científica”. Para ello proponía la creación de una Vicerrectoría de Ciencias y Tecnología, que agruparía las actividades de docencia e investigación en Ingeniería, Física, Química y Matemáticas, además de la enseñanza técnica.

De estos hechos y proyectos, expuestos muy sintéticamente, fluyen algunos rasgos distintivos de don Raúl: audacia, valentía, inclusive temeridad; organización, planificación y trabajo en equipo; visión amplia y de futuro.

Sin embargo, dado su carácter multifacético, para responder a la pregunta anteriormente formulada, ¿Quién fue realmente

Raúl Devés Jullian?, no es suficiente recurrir a los textos mencionados ni limitarse a esos rasgos. Elementos complementarios aparecen en su discurso de recepción de la Medalla de Oro, el cual versó sobre el tema Humanismo en la Educación, y en las publicaciones de prensa aparecidas con ocasión de su fallecimiento, ocurrido en junio de 1996.

En ellas se reprodujo la siguiente frase de su autoría: “La formación de un ingeniero y del profesional en general no es completa si no tiene una base moral en que la ética sea no un freno, sino más bien una forma de ser”.

Otra referencia valiosa para conocer mejor a don Raúl es una carta de septiembre de 1964, poco antes de que Eduardo Frei Montalva fuera electo, enviada al aún candidato desde su cargo de Jefe del Comando de Profesionales y Técnicos de la campaña presidencial en curso, y en la cual don Raúl exhibe su carácter directo, preciso y de líder innato:

“Estimado Eduardo: Debido a que me voy a los Estados Unidos te molesto sobre algunos puntos que quiero que consideres:

1°) Por mi viaje quedan a cargo del Comando como Vicepresidentes Fernando y Alejandro. Trata de recibirlos un día con los miembros del Comando Nacional para que les expongas en breves palabras lo que tú esperas de ellos y tu reconocimiento a su labor. Envía también algo escrito como lo hiciste con los partidos políticos.

2°) No he podido conversar con nadie sobre el destino de los independientes para el futuro. He procedido en la forma que me ha parecido más conveniente; mi pensamiento está sintetizado en una carta que mandé a los Comandos provinciales. Los Vicepresidentes saben mi manera de pensar y te la pueden decir.”

¿Se requiere algo más que estas dos frases y saber a quién estaban dirigidas, para conocer realmente quién era Raúl Devés Jullian?

Este estilo propio, tan alejado de la del político tradicional, también tuvo éxito en este ámbito, ya que según consigna uno de sus colegas del Tribunal Supremo de la DC, “Con su magnetismo supo obtener la adhesión de importantes profesionales de todas las disciplinas, los cuales trabajaron arduamente por el triunfo de su candidato”.

Pero esta carta depara elementos de aún mayor significación. Me salto algunos puntos y paso al 6°) “Te envío una síntesis de la parte final del trabajo que presentaré en Washington y que puede tener algún interés para ti”.

Posiblemente el Candidato Frei Montalva, inmerso en la vorágine de la campaña, no tuvo tiempo para leer el trabajo que don Raúl le enviara, pero yo sí lo tuve y me alegré de hacerlo pues también aquí aparecen claramente expuestas algunas de sus creencias, y que, como verán, tuvieron directa incidencia en su accionar como Decano:

“Las necesidades que los países en vías de desarrollo deben satisfacer en sus presupuestos, están normalmente en relación con su poder económico, con excepción de tres rubros, en que las necesidades son idénticas o muchas veces superiores a las de los países desarrollados; nos referimos a la salud, la habitación y la educación.

A nadie puede extrañar que la posibilidad de contar con un techo, de cuidar la salud, y de obtener una adecuada educación, debe ser independiente del nivel económico, tanto en lo nacional como en lo internacional, porque son necesidades humanas y por consiguiente de responsabilidad de la comunidad mundial.

Los gastos de educación deben ser considerados en los presupuestos de las naciones, como gastos de inversión, porque será imposible todo desarrollo, si no se construye previamente el cerebro y se cincelan las inteligencias; por consiguiente, en orden de prioridad, la primera inversión debe ser en Educación.

En resumen, quiero manifestar que el problema de la educación es un problema de responsabilidad mundial a cuya solución deben concurrir con enorme cuota de sacrificio las naciones desarrolladas; además, será el mejor negocio que ellas puedan hacer, como lo es para el padre que educa bien a sus hijos y ve a éstos desarrollar posteriormente una vida libre, independiente y sin cargo para él.

Todo el esfuerzo que hemos realizado ha sido posible gracias a la comprensión que hemos tenido de diversas instituciones y entre las cuales podemos destacar a modo de ejemplo por la amplitud de su ayuda, a la Fundación Ford y a la Universidad de California.

Debemos recomendar ampliamente los acuerdos bipartitos entre Universidades latinoamericanas y norteamericanas o europeas, en los que éstas últimas puedan actuar asesorando a las primeras, discutiendo a través de sus instituciones y de sus hombres las mejores posibilidades de avance”.

Según se observa, don Raúl no solamente creía firmemente en lo que hacía, sino que además procuraba que sus creencias

y acciones fueran acogidas por las más altas instancias del país.

El último documento al cual me referiré es una síntesis de una Asamblea del Partido Demócrata Cristiano, que tuvo lugar sólo a 45 días del término del gobierno de Salvador Allende. Esta síntesis, preparada por don Raúl y enviada al Presidente del Partido de aquel momento, Patricio Aylwin, ha sido conservada por la Fundación que lleva el nombre del ex presidente. En este documento don Raúl relata en detalle la participación en la Asamblea de los principales dirigentes del Partido, exponiendo sus personales puntos de vista sobre la situación del país en aquel momento, las acciones del Presidente de la República, ministros y parlamentarios de la Unidad Popular, la muy posible intervención en el conflicto de las Fuerzas Armadas chilenas y también de las de los países limítrofes y sus probables consecuencias. Su envío fue acompañado de una carta conductora más bien sarcástica:

“Patricio: te mando copia de Los últimos días de Pompeya. Es útil y divertido leerlo”.

En este escrito don Raúl no solamente describe con precisión el complejo ambiente en el que se desenvuelven los dirigentes de su partido, sino también muestra la claridad que tiene sobre lo que al país le espera. Estas características seguramente fueron también las que tuvo en cuenta el Presidente Aylwin al considerar su nombre para el cargo más difícil de su Ministerio, el de Ministro de Defensa, según escribe Ascanio Carvallo en “La historia oculta de la transición. Memoria de una época”. Posiblemente su estado de salud, ya algo debilitado, impidió que se concretara esta posibilidad.

Líder innato, realizador, imaginativo, creativo, firme de posiciones, trabajador en equipo, exigente, audaz, de visión amplia y de futuro, pero también sencillo, afectuoso, servicial, tolerante, compasivo, humilde y cariñoso con su familia son algunas de las numerosas características que se han difundido como propias de don Raúl. Estos rasgos distintivos, conjugados en su persona, ayudan a comprender mejor su contribución e iluminan el camino de quienes hoy ejercemos la profesión que tanto amó.

Muchas gracias.

(Aplausos).

PREMIO
“RAMÓN SALAS
EDWARDS - AÑO 2019”



Premio “Ramón Salas Edwards - Año 2019”, a los autores del trabajo ““DART: Solución de Inteligencia Artificial para la Prevención de la Ceguera””, de los autores (de pie) Sres. Rodrigo Donoso, Maximiliano Rojas, Tomás Perry, Fernando Bernuy y Matías Peralta. Y los Sres. José Tomás Arenas, Mariano Pola e Ignacio Abarca.

En solemne ceremonia realizada en el Salón de Honor del Instituto de Ingenieros de Chile, el día viernes 11 de octubre de 2019, se hizo entrega del premio “Ramón Salas Edwards - Año 2019” a los Ingenieros Sres. José Tomás Arenas, Ignacio Abarca, Fernando Bernuy, Maximiliano Rojas, Matías Peralta, Tomás Perry, Mariano Pola y Rodrigo Donoso, por su trabajo “DART: Solución de Inteligencia Artificial para la Prevención de la Ceguera”.

Este Premio fue instituido para destacar el mejor trabajo científico o tecnológico relacionado con la Ingeniería, y se otorga cada año a la, o las personas que, en conjunto, hayan elaborado y publicado dicho trabajo en los 5 años anteriores al año en que se otorga dicho premio.

Dio inicio a la ceremonia el Vicepresidente del Instituto, Sr. Carlos Mercado, quien en una breve alocución se refirió a la naturaleza de este Premio y a su significado dentro del Instituto y en la comunidad de los ingenieros.

Posteriormente, realizó la presentación de los galardonados, el Sr. Alberto Vergara Fernández, coautor del trabajo galardonado con el mismo premio el año 2018.

El Vicepresidente.

—En el día de hoy el Instituto de Ingenieros de Chile realiza esta ceremonia, con el objeto de entregar el premio “**Ramón Salas Edwards**”, correspondiente al año 2019.

La labor del Instituto, que este mes cumple 131 años de existencia, incluye entre sus tareas más gratas e importantes la de reconocer los méritos de algunos de nuestros colegas que se destacan en diversas etapas o aspectos de su vida profesional. En efecto, para el Instituto siempre es una gran ocasión celebrar los logros y merecimientos de los ingenieros que se hacen acreedores a estos premios, no sólo por la alegría que provoca en los galardonados y sus familias, sino también por la satisfacción de reconocer y valorar a quienes han hecho una contribución importante a la sociedad en que vivimos. El reconocimiento por parte de los pares ha tenido una gran importancia desde los inicios de la cultura occidental y hoy es una de esas ocasiones, en que el Instituto de Ingenieros de Chile homenajea a sus laureados.

El premio “Ramón Salas Edwards” ha recaído este año en el trabajo: “**DART: Solución de Inteligencia Artificial para la Prevención de la Ceguera**”, de los autores: Sres. José Tomás Arenas, Ignacio Abarca, Fernando Bernuy, Maximiliano Rojas, Matías Peralta, Tomás Perry, Mariano Pola y Rodrigo Donoso.

Este Premio fue instituido para destacar el mejor trabajo científico o tecnológico relacionado con la Ingeniería y se otorga cada año a la o las personas que, en conjunto, hayan elaborado y publicado dicho trabajo en los 5 años anteriores a aquel en que se otorga dicho premio.

Todos los años, el Directorio nombra una Comisión que examina los trabajos que han sido propuestos, emite un informe y lo somete a la consideración del Directorio y del Consejo Consultivo de la Corporación, que reunidos en sesión solemne y votación secreta disciernen el nombre del trabajo premiado.

El premio lleva el nombre de don Ramón Salas Edwards, quien fue descrito por el ingeniero Raúl Sáez como “un sobresaliente ingeniero, brillante matemático, investigador original y, antes que nada, maestro por vocación”. Ante la necesidad importante y urgente de promover entre nuestros ingenieros la realización de trabajos científicos y tecnológicos, Raúl Sáez explicaba la decisión del Instituto de crear este premio, agregando que: “perpetúa el recuerdo de un hombre eminente que engrandeció nuestra profesión y cuyos aportes a la investigación alcanzó relieves internacionales”.

Este año corresponderá a Alberto Vergara Fernández, presentar el trabajo premiado y, de esta forma, testimoniar en él los aspectos que caracterizan el trabajo distinguido y que honran

la memoria de don Ramón Salas Edwards. Por ello sólo me limitaré a señalar a los asistentes a esta ceremonia, que nos encontramos ante un trabajo hecho por profesionales cuyos atributos coinciden plenamente con aquellos requisitos que deben darse para ser distinguidos con este Premio.

Extiendo a los autores del trabajo galardonado mis sinceras felicitaciones.

De acuerdo con lo tradicional, la presentación del galardonado la efectuó el Sr. Alberto Vergara Fernández, coautor de trabajo galardonado el año 2018.

Sr. Alberto Vergara Fernández.

—Para mí es un privilegio, presentar a un grupo interdisciplinario que recibe el premio “Ramón Salas Edwards – 2019, otorgado por el Instituto de Ingenieros de Chile, destinado a destacar un trabajo científico-tecnológico en el campo de la Ingeniería desarrollado en Chile. Este trabajo es DART por sus siglas de Diagnóstico Automatizado de Retinografía Telemática: solución de inteligencia artificial para la prevención de la ceguera.

En el contexto nacional e internacional, la Inteligencia Artificial (IA), como pilar de la cuarta revolución industrial, se ha convertido en una herramienta de transformación con enorme potencial para beneficiar social y económicamente a los países y sus regiones. Por ello, sin duda alguna la IA cambiará la forma en que vivimos, trabajamos, aprendemos, descubrimos y nos comunicamos. El progreso de la investigación, desarrollo, innovación en IA puede ayudarnos a avanzar significativamente en nuestras prioridades nacionales, incluyendo el incremento de la actividad económica, el mejoramiento de la calidad de vida, y la disminución de las desigualdades sociales, entre otras. Siendo un ejemplo concreto de este progreso y su aporte a la calidad de vida de la sociedad, el desarrollo de DART.

El desarrollo tecnológico DART se crea como una herramienta basada en inteligencia artificial con el objetivo de prevenir la causa más frecuente de pérdida de visión y ceguera en la población en edad trabajadora a nivel mundial, la ceguera por diabetes (o retinopatía diabética). Esto se persigue por medio de su detección automatizada, de manera de hacer más eficiente el uso de recursos necesarios para cubrir a la población objetivo con el examen preventivo en la frecuencia adecuada y, especialmente, con la interpretación de ese examen.

Una de cada once personas sufre de diabetes a nivel mundial. Todas estas personas están expuestas, debido a las consecuencias de su enfermedad, a perder progresivamente la visión.

Sin embargo, esto es totalmente prevenible. El inconveniente es que la única manera de lograr evitar esta pérdida de visión es, según las guías internacionales, logrando que cada una de estas personas se someta a un examen de fondo de ojo de frecuencia anual. Debido a que la diabetes ya ha sido declarada como una epidemia que además crece a tasas descontroladas y que las capacidades oftalmológicas no crecen a este mismo ritmo, la cobertura de este examen por parte de los sistemas de salud es muy insuficiente (la cantidad de pacientes diabéticos que efectivamente tiene acceso a su examen de fondo de ojo anual es menos del 25% en Chile y menos del 50% en Estados Unidos). No hay, por lo tanto, maneras tradicionales de hacer frente al problema y cerrar la brecha de acceso al diagnóstico oportuno, incluso tomando en cuenta la telemedicina.

La solución está actualmente en total implementación, considerada incluso un estándar nacional de salud, además de estar en fase de escalamiento internacional.

Esta tecnología fue desarrollada por cuatro ingenieros civiles eléctricos, un ingeniero civil industrial, dos ingenieros civiles en computación y un médico, todos ellos formados en la Universidad de Chile:

1. José Tomás Arenas; ingeniero civil electricista, ingeniero civil industrial de la Universidad de Chile. Como cofundador y gerente de la Compañía, co-diseñó de la estrategia desde su concepción hasta el liderazgo del equipo para su desarrollo tecnológico y comercial.
2. Ignacio Abarca; ingeniero civil electricista de la Universidad de Chile. Gerente de tecnologías, encargado de ejecutar la estrategia tecnológica y tomar decisiones en cuanto al rendimiento y eficiencia.
3. Fernando Bernuy; ingeniero civil electricista, doctor en ingeniería eléctrica de la Universidad de Chile. Cientista de datos encargado de incorporar conocimiento del estado del arte mundial respecto al desarrollo en inteligencia artificial.
4. Maximiliano Rojas; ingeniero civil industrial, magíster en ingeniería de negocios con tecnologías de la información de la Universidad de Chile. Como ingeniero de negocios, complementa aplicación de tecnologías con estrategia comercial desde una visión analítica de las tareas de prospección y desarrollo de negocios.
5. Matías Peralta; ingeniero civil en computación (c), magíster en ciencias con mención en computación (c) de la Universidad de Chile. Ingeniero de software a cargo de la habilitación de los algoritmos.
6. Tomás Perry; ingeniero civil en Computación (c) de la Universidad de Chile. Ingeniero de software explorando nuevas aplicaciones de modelos propietarios de inteligencia artificial.

7. Mariano Pola; ingeniero civil electricista, postgrado en evaluación y dirección de proyectos empresariales de la Universidad de Chile. Cofundador y director de Telediagnósticos aportando toda su experiencia en la orientación de lineamientos tecnológicos y comerciales.
8. Rodrigo Donoso; médico cirujano, especialista en Oftalmología de la Universidad de Chile, Cornea Fellow de la Universidad de Puerto Rico, Cornea and External Disease Fellow de la University of London. Cofundador y director de Telediagnósticos, concibiendo la idea original desde la necesidad latente y aportando en términos estratégicos y de redes de especialistas en el ámbito de acción.

Este Sistema ha sido presentado en numerosos congresos nacionales e internacionales de salud pública, oftalmología y ciencias de la computación. A través de la estrategia de Hospital Digital del Ministerio de Salud de Chile se comenzó a utilizar en 2018 en cuatro de los veintinueve Servicios de Salud: Metropolitano Norte, Metropolitano Sur, Maule y Biobío, a través de sus correspondientes Unidades de atención primaria oftalmológica y se incrementó progresivamente hasta llegar actualmente a tener prácticamente una cobertura total. Este logro ha sido destacado, entre otros, por la Agencia Internacional de Prevención de la Ceguera?.

Los resultados permiten corroborar que el rendimiento de la tecnología es coherente con lo validado originalmente, ratificándose como una herramienta efectiva de tamizaje de Retinografía Diabética para estrategias de grandes poblaciones de pacientes diabéticos, posibilitando aumentar la cobertura del examen de fondo de ojo.

Esta tecnología está siendo evaluada actualmente por medio de pilotos y pruebas de concepto en centros de salud en Perú, Ecuador, Brasil y México.

Por eso, a mi juicio, es tan importante el trabajo desarrollado por el distinguido grupo que hoy el Instituto de Ingenieros de Chile merecidamente premia. Ellos marcan un camino en el desarrollo de la Inteligencia Artificial en Chile y una disminución importante en el acceso a la salud de los chilenos, que debiera ser un rubro donde las universidades, las empresas y el Gobierno, trabajen coordinadamente para hacer de Chile un país líder en el desarrollo de innovaciones tecnológicas.

Una vez más, mis agradecimientos al Instituto de Ingenieros de Chile y mis sinceras felicitaciones a los galardonados.

Muchas gracias.

(Aplausos).



Don José Tomás Arenas, recibe en representación de todos los autores, el Diploma de Honor y Medalla recordatoria de manos de don Carlos Mercado, Vicepresidente del Instituto de Ingenieros de Chile. Los acompaña en la testera, don Alberto Vergara F., uno de los autores del Trabajo premiado el año 2018.

A continuación, el Ex Presidente del Instituto Sr. Carlos Mercado, procedió a hacer entrega del Diploma de Honor y una Medalla recordatoria a los Ingenieros Sres. José Tomás Arenas, Ignacio Abarca, Fernando Bernuy, Maximiliano Rojas, Matías Peralta, Tomás Perry, Mariano Pola y Rodrigo Donoso. Acto seguido, don José Tomás Arenas, en nombre de los galardonados, manifestó sus agradecimientos por la distinción otorgada en los siguientes términos:

Sr. José Tomás Arenas C.

—Estimadas autoridades del Instituto de Ingenieros, personalidades académicas, mundo público y privado. Colegas, familias y amigos. En nombre de Telediagnósticos y el equipo galardonado quisiera saludarlos y contarles brevemente de qué se trata el trabajo por el que hoy nos toca, con mucha satisfacción, estar en esta posición.

Nos sentimos profundamente honrados y agradecidos por haber sido distinguidos por el Instituto de Ingenieros, especialmente cuando se trata de destacar un trabajo científico-tecnológico en el campo de la ingeniería desarrollado en Chile.

Esto se suma a reconocer no sólo la complejidad tecnológica de lo que hace este grupo, llamado Telediagnósticos, sino también el trabajo e ingeniería con propósito.

Además del Instituto de Ingenieros, no podemos dejar de agradecer a: CORFO, CTD Salud + Desarrollo, CONICYT, UDD Ventures, ProChile, ISCI: Instituto de Sistemas Complejos de Ingeniería, CEINE: Centro de Investigación en Inteligencia de Negocios, Start-Up Chile, CRSCO: Centro de Referencia de Salud Cordillera Oriente, Fundación Salvador, Laboratorio de Gobierno, Ministerio de Salud, y muchos otros.

Tampoco dejar pasar la oportunidad de volver a destacar el esfuerzo, visión compartida, capacidades en general, ética y sentido de cada uno de los integrantes del equipo responsable. Ignacio, Fernando y Maximiliano, los primeros que creyeron en esto y se embarcaron sin pensarlo dos veces. Matías y Tomás, con la proactividad de sumarse para aportar a llevar una idea a un producto. Y por supuesto a Mariano y Rodrigo, con quienes fundamos este proyecto en un momento en el que ni siquiera se hablaba abiertamente de inteligencia artificial y nos miraban como si estuviéramos locos por intentar juntar dos realidades

que nadie hasta ese punto había pensado acercar en Chile o la región.

Justamente desde la inquietud del Dr. Donoso, vimos que los Sistemas de Salud del mundo alertaban de una epidemia global y sus consecuencias en la salud visual. La diabetes, tanto en ese momento como hoy, afecta a más de 400 millones de personas que, sin mayores síntomas o advertencias, pueden perder la visión. Paradójicamente, la ceguera por diabetes (o retinopatía diabética) es una enfermedad totalmente evitable. Pero la única manera de hacerlo es examinando la retina de todas las personas diabéticas todos los años. Esto no es posible y por lo tanto, la ceguera por diabetes es la principal causa de pérdida de visión y ceguera en la población en edad trabajadora del mundo, además de ser la causa de ceguera que más rápido crece en general. La causa de este problema es la imposibilidad de los Sistemas de Salud para dar cobertura a la desbordada demanda de exámenes de fondo de ojo por parte de la población diabética. Y no hay maneras tradicionales de cerrar esta brecha, ni siquiera por medio de la telemedicina.

En este escenario, y desde el origen con una mirada multidisciplinaria hacia el impacto social, fue concebido DART: una herramienta de inteligencia artificial para la detección automatizada de ceguera por diabetes en imágenes digitales de retina. La manera en que opera es mediante una plataforma en la nube, donde los tecnólogos médicos suben las imágenes de retina que capturan con equipamiento especializado en el punto de atención, generalmente en la atención primaria. Luego de ingresar estos exámenes, un motor de IA, sin la intervención de ninguna persona, es capaz de discriminar cuáles son los casos que realmente requieren de la hoy escasa atención por parte de médicos oftalmólogos, descartando la gran mayoría de pacientes que simplemente deben volver al año siguiente, descongestionando significativamente la red de atención y ampliando la cobertura.

Esta tecnología tiene niveles de precisión por sobre lo exigido para un método de tamizaje, incluso alcanzando valores equivalentes a la decisión de un oftalmólogo. Es por esto que el año 2018 el Ministerio de Salud finalmente decidió adoptarla e instalarla como la referencia de su estrategia de tele-oftalmología. Esto significó que DART fue la primera herramienta de IA del mundo en ser adoptada como un estándar nacional en salud. En números, hoy está funcionando en todas las cerca de 130 unidades de atención primaria oftalmológica, impactando positivamente en más de 250.000 personas de todas las regiones de Chile en el último año. Estas son sin duda cifras destacables e inéditas para una tecnología de esta naturaleza, pero la tarea está en aprovechar el aumento de capacidad que esto implica para el sistema de salud y apuntar a ayudar a más de 1 millón de personas por año a prevenir su pérdida de visión, solo en Chile.



Durante la ceremonia el Sr. José Tomás Arenas agradeció en nombre de todos de los autores la distinción recibida.

Este impacto es además fácilmente replicable internacionalmente y hacia otros desafíos de la salud, que sigue siendo uno de los sectores menos digitalizados. Vemos que este enfoque es la evolución de la prevención y la salud personalizada en general. La transformación digital y telemedicina no son una meta suficiente para el acceso a la tecnología y capital humano que se puede aportar desde la ingeniería. Así, también estamos hoy instalando pruebas de concepto en distintos países de la región, mientras ampliamos al mismo tiempo la oferta hacia la radiología y la analítica avanzada para mejorar las decisiones en salud. Con la convicción de que la formación en ingeniería, la atracción por la resolución de problemas complejos y el impulso por el aprendizaje continuo son algunos de los pilares que poco a poco nos van a llevar a escalar desde Chile tecnología de clase mundial con impacto en las personas. Y, por qué no acercarnos mediante ese capital humano hacia la sofisticación de los servicios y la matriz productiva de nuestro país.

Ha sido sin duda un largo pero enriquecedor camino, que hemos recorrido apoyados y aguantados por nuestras familias. En este sentido, y a nombre de todo el equipo, quisiera agradecer especialmente a nuestras familias por acompañarnos con paciencia en este recorrido que estamos seguros que tiene preparadas muchas más realizaciones, aporte y sueños por delante.

Muchas gracias

(Aplausos).

PREMIOS A LOS ALUMNOS DESTACADOS DE INGENIERÍA CIVIL - AÑO 2019



Ingenieros galardonados con los Premios “Marcos Orrego Puelma”, “Ismael Valdés Valdés” y “Roberto Ovalle Aguirre” Año 2019, junto a las autoridades del Instituto y de sus respectivas Casas de Estudio.

El viernes 4 de octubre de 2019, en el Salón de Honor del Instituto de Ingenieros de Chile, tuvo lugar la ceremonia de entrega de los Premios “Marcos Orrego Puelma”, “Ismael Valdés Valdés” y “Roberto Ovalle Aguirre”, año 2019.

El Sr. Luis Nario Matus, Presidente del Instituto, inició este solemne acto con una breve y significativa alocución en la que destacó el fundamento de cada premio.

PREMIO MARCOS ORREGO PUELMA.

Este Premio, se instituyó en el año 1936, y se otorga cada año al mejor alumno entre los Ingenieros egresados de la Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Concepción, Universidad Técnica Federico Santa María, Universidad de Santiago de Chile, Universidad Diego Portales y Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, de la promoción del año inmediatamente anterior al del otorgamiento del premio.

PREMIO ISMAEL VALDÉS VALDÉS.

El Premio Ismael Valdés Valdés fue instituido en el año 1953 y se otorga cada año a los Ingenieros egresados de las Universidades que he mencionado anteriormente, y se hayan distinguido simultáneamente por:

1. Las aptitudes para organizar y dirigir.
2. Las condiciones morales, y
3. La preparación técnica.

PREMIO ROBERTO OVALLE AGUIRRE.

El Premio “Roberto Ovalle Aguirre”, fue instituido en el año 1949 y distingue a los Ingenieros egresados de las Universidades que ya hemos mencionado y se otorga cada año al autor o autores del mejor proyecto o memoria para obtener el título de Ingeniero Civil, que esté relacionado con la instalación o explotación de una industria relevante para el fomento de la economía nacional.

Acto seguido, el Presidente, Sr. Luis Nario Matus, procedió a hacer entrega de los correspondientes galardones:

Premio “Marcos Orrego Puelma - Año 2019”

Universidad de Chile, Camila Álvarez Inostroza; P. Universidad Católica de Chile, Mattia Rigotti Thompsom y Sebastián Soto Rojas; Universidad de Concepción, Gustavo Chaparro Maldonado; U. Técnica Federico Santa María, Andrés Arriagada Romero; Universidad de Santiago de Chile, Leonardo Carrasco Saldías; Universidad Diego Portales, Tamara Araya Jorquera; P. Universidad Católica de Valparaíso, Miguel Gómez Fuentes.

Premio “Ismael Valdés Valdés - Año 2019”

Universidad de Chile, Franco Ricchetti Campos; P. Universidad Católica de Chile, Verónica Puga Durán; Universidad de Concepción, Diego Gatica Romero; U. Técnica Federico Santa María, Sofía Allende Contador; Universidad de Santiago de Chile, Liliana Pérez Peña; Universidad Diego Portales, David Reyes Acuña; P. Universidad Católica de Valparaíso, Camila Silva Millones.

Premio “Roberto Ovalle Aguirre - Año 2019”

Universidad de Chile, Gustavo Díaz Huenupán; P. Universidad Católica de Chile, Constanza Villanueva Casado; Universidad de Concepción, Nicole Penroz Cifuentes; U. Técnica Federico Santa María, Sebastián Arriagada Gallegos; Universidad de Santiago de Chile, Amanda Quilodrán Cádiz; Universidad Diego Portales, Rodrigo Reyes Schiappacasse; P. Universidad Católica de Valparaíso, Isabel Marchant Sanhueza e Ignacio Lafitte Peña.

A continuación, la Ingeniera Liliana Pérez de la Universidad de Santiago de Chile, en representación de los premiados expresó sus agradecimientos, en los siguientes términos:

Srta. Liliana Pérez.

—Estimados Decanos, Representantes de Decanos, Sr. Presidente del Instituto de Ingenieros, miembros y socios del Instituto, Familiares, Amigos y Amigas es una gran alegría y honor para mí poder realizar este discurso en representación de todos mis colegas galardonados.

Si bien todos los galardonados somos ingenieros e ingenieras, cada uno de nosotros proviene de diferentes ciudades, costumbres y universidades, tenemos distintas historias que nos definen como únicos. Sin embargo, algo en común además de nuestro título profesional es que somos seres humanos que sentimos, y es en lo que quiero centrar este discurso ya que en nuestra actual sociedad es algo totalmente olvidado.

Vivimos en una sociedad que día a día avanza a pasos acelerados en investigación, tecnología y conocimientos para poder mejorar la calidad de vida de los seres humanos, donde todos quieren desempeñarse de la mejor forma en sus empleos y sé que en este punto se preguntarán qué tiene de malo eso, pues nada ¿Pero cuantas veces vemos las noticias y juzgamos a los jóvenes delincuentes por sus acciones, que dónde están los padres de estos niños ¿Por qué no están estudiando?, ¿Cuántas veces hemos pasado al lado de personas en situación de calle, entregamos una limosna y ya sentimos que hicimos la buena acción del día? ¿Cuántas veces no quisimos hacer algún trabajo con algún compañero, porque era el “flojo” del curso o nos daba lata si quedábamos en el mismo grupo?

De seguro han sido muchas y ejemplos como estos hay cientos, pero son tan pocas las veces que nos preguntamos ¿Qué fue lo que llevó a esa persona estar donde está, ser cómo es? ¿Por qué yo estoy donde estoy y él no? ¿Qué punto en nuestras historias nos hizo tan distintos? Estamos tan preocupados en ser los mejores y rendir al 100% que se nos olvidó lo que era la empatía, de que vivimos en una comunidad, que los prejuicios solo nos ciegan, que no somos máquinas productivas ni mucho menos competencia entre nosotros, que el de al lado al igual que yo siente y unas simples palabras de aliento, el escucharlo o conocer su historia antes de emitir juicios podría cambiar su día.

Corremos todo el día para alcanzar a hacer todo, nos acostumbamos a vivir en la rutina, dejamos de lado las reuniones familiares o con amigos porque hay deberes por cumplir, porque al parecer lo más importante al final del día es cuanto fuimos capaces de producir, pero y ¿En qué momento nos detenemos, respiramos y miramos nuestro alrededor? Hay un millón de cosas sucediendo en este mismo instante y no nos damos cuenta, este es el momento para salir de nuestras burbujas, romper esquemas y conocer otras realidades, dejar de preocuparnos solo de nosotros mismos.



Premio “Marcos Orrego Puelma - Año 2019”: Universidad de Chile, Camila Álvarez Inostroza; P. Universidad Católica de Chile, Mattia Rigotti Thompsom y Sebastián Soto Rojas; Universidad de Concepción, Gustavo Chaparro Maldonado; U. Técnica Federico Santa María, Andrés Arriagada Romero; Universidad de Santiago de Chile, Leonardo Carrasco Saldías; Universidad Diego Portales, Tamara Araya Jorquera; P. Universidad Católica de Valparaíso, Miguel Gómez Fuentes.



Premio “Ismael Valdés Valdés - Año 2019”: Universidad de Chile, Franco Ricchetti Campos; P. Universidad Católica de Chile, Verónica Puga Durán; Universidad de Concepción, Diego Gatica Romero; U. Técnica Federico Santa María, Sofía Allende Contador (representada por su madre); Universidad de Santiago de Chile, Liliana Pérez Peña; Universidad Diego Portales, David Reyes Acuña; P. Universidad Católica de Valparaíso, Camila Silva Millones.



Premio “Roberto Ovalle Aguirre - Año 2019”: Universidad de Chile, Gustavo Díaz Huenupán; P. Universidad Católica de Chile, Constanza Villanueva Casado; Universidad de Concepción, Nicole Penroz Cifuentes; U. Técnica Federico Santa María, Sebastián Arriagada Gallegos; Universidad de Santiago de Chile, Amanda Quilodrán Cádiz; Universidad Diego Portales, Rodrigo Reyes Schiappacasse; P. Universidad Católica de Valparaíso, Isabel Marchant Sanhueza e Ignacio Lafitte Peña.

Démosle el honor que se merecen a nuestros premios, tomemos el compromiso de no solo ser los mejores en nuestras diferentes disciplinas, sino también de luchar, de construir una sociedad consciente de lo que nos rodea, que forjemos un país más justo, sin brechas entre hombre y mujeres, donde los niños de poblaciones tengan la misma oportunidad de estudiar y surgir como cualquier otro, eliminemos los prejuicios y aprendamos a conocernos. Pues como dijo Ghandi “Se tú el cambio que quieres ver en el mundo”

Finalmente quiero agradecer a todos quienes cultivaron nuestros caminos, profesores, compañeros, amigos y sobre todo a nuestras familias por siempre esforzarse en darnos lo mejor para que triunfemos, los premios que hoy recibimos no

son solo por nuestro esmero sino también por el de ustedes.

Gracias al Instituto de Ingenieros por los reconocimientos entregados, por tener un foco y confianza en las nuevas generaciones.

Muchas gracias a los presentes y que nunca olvidemos que cada ser humano es parte fundamental de este gran rompecabezas que denominamos sociedad.

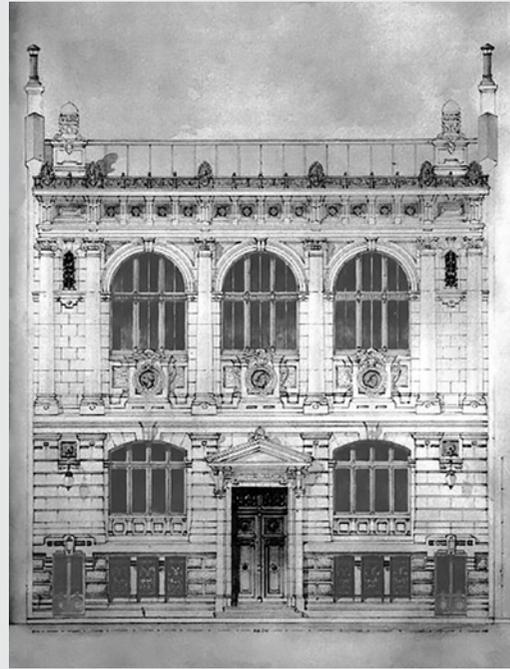
Muchas gracias.

(Aplausos).

ENTREVISTA A INGENIEROS DESTACADOS

Como una necesidad de preservar la historia de ingenieros destacados y de la Ingeniería, la Comisión de Ingenieros en la Historia Presente, dio inicio a una serie de entrevistas, con el objeto señalado.

En esta ocasión se presentan dos extractos de las entrevistas realizadas a la Ingeniera Sally Bendersky Schachner y el Ingeniero Mauricio Sarrazín Arellano. Estas entrevistas, como las que se hagan en el futuro, serán objeto de una publicación especial.



MAURICIO SARRAZÍN.

Realizado, amistoso y tolerante.

Cuando Mauricio Sarrazín estudiaba en el colegio en Valdivia, ya le gustaban la física y las matemáticas. Además, con un padre ingeniero agrónomo y profesor universitario, su decisión no tardaría en llegar, y así fue que partió a Santiago a estudiar ingeniería.

En su primera etapa en la Universidad de Chile optó por la ingeniería estructural que le resultaba muy fácil y atractiva. Recuerda a profesores que influyeron en su formación, tales como Arturo Arias, que fue su profesor de álgebra y luego de dinámica, a Joaquín Monge, Rodrigo Flores y Augusto León, entre otros. Luego, estudiando en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) recuerda a José Manuel Roesset, Whitman, Connor, Cornell, Crandahl y Reinhardt, que fueron profesores destacados en su formación de postgrado.

Cuando finalizaba sus estudios universitarios, estaba haciendo una Memoria que consistía en un laboratorio para ingeniería estructural. Entonces, el profesor Joaquín Monge, a cargo del Laboratorio de Estructuras del recientemente creado Departamento de Ingeniería Civil, reclutaba gente para ese proyecto y se interesó en el tema de su memoria. De ese modo, terminó siendo contratado, para finalmente ser académico de la universidad. Ese mismo año se había realizado un convenio con el MIT, dentro del cual participó. Se hizo un Seminario para toda Latinoamérica del Programa ICES, Integrated Civil

Engineering System desarrollado por esa universidad, con financiamiento de IBM. Ese sistema comprendía subsistemas, uno de los cuales se refería al análisis y diseño de estructuras, STRUDL. Otros subsistemas se referían a hidráulica, mecánica de suelos y topografía. Ese Seminario se hizo para toda Latinoamérica, en la Escuela de Ingeniería y entre los profesores del MIT estuvo José Manuel Roesset, con quien nuestro entrevistado estuvo trabajando durante 1967. Además, ese año trabajó en proyectos de hormigón prefabricado para la empresa DEPETRIS.

Como académico de la Universidad de Chile, su actividad se focalizó en la enseñanza y en la investigación. Posteriormente fue Director de Departamento, Director de la Escuela de Ingeniería y Ciencias, Director de la Escuela de Postgrado y Decano. También fue presidente de CONICYT, que no sólo abarcaba la investigación en las diferentes ramas de la ingeniería, sino también en ciencias y humanidades. Esta fue para él una gran experiencia de tres años, donde conoció a muchos destacados investigadores y a organizaciones similares de otros países. En CONICYT, creó los proyectos FONDAP, para formar centros en áreas que fueran importantes para el país, y que tuvieran recursos suficientes a través del tiempo. También en ese momento se le dio relevancia a EXPLORA, un proyecto de difusión de la ciencia en los colegios y la sociedad en general.

Como parte de su desarrollo profesional, formó una empresa con Rodolfo Saragoni (SyS Ingenieros). Entre los proyectos desarrollados, señala el diseño de las plataformas de extracción

de petróleo en Magallanes, que incluyó diseño, cálculo y los aspectos de construcción, transporte, posicionamiento y colocación de pilotes en el fondo marino. También participó en el desarrollo de un programa para el lanzamiento de tuberías para ENAP y en la construcción de un molo para la Armada en Talcahuano. El Molo 500 era un antiguo molo formado por bloques macizos de hormigón que, desde su construcción, comenzó a hundirse por la mala calidad del suelo. Para construir el nuevo molo, se estabilizaron los antiguos bloques rebajándolos y se construyó una estructura prefabricada de hormigón armado sobre pilotes dejando un espacio entre el nuevo tablero y el antiguo muro. El nuevo Molo 500 resistió el maremoto del 2010 solo con daños menores.

Uno de los aportes principales en su carrera ha sido la formación de ingenieros, ya sea como profesor, guía de tesis para el título, en la implementación de nuevos cursos, y como director de la Escuela de Ingeniería, donde intervino en los Planes de Estudio. En investigación, se destacan sus aportes en análisis estructural, el desarrollo de nuevos métodos de análisis, como el método de los elementos finitos, junto con el profesor Roesset y Tomás Guendelman. Además, la colaboración en el desarrollo de normas, como las de aislación sísmica, de disipación de energía y de diseño sismo-resistente.

Otra contribución suya ha sido la incorporación en Chile de los conceptos de aislación sísmica. En los años 80 participó junto con la profesora María Ofelia Moroni, en un proyecto de la UNIDO para desarrollar edificios económicos aislados, liderado por el profesor James Kelly, de Berkeley. Dentro de este proyecto se hizo el primer edificio aislado en Chile, en un conjunto habitacional del arquitecto Fernando Castillo Velasco (conjunto denominado Comunidad Andalucía), construido el año 1992.

Entre los eventos importantes e impactantes en su vida, señala al terremoto del año 60, porque su familia vivía en Valdivia, pero él se encontraba iniciando su carrera en primer año de ingeniería en Santiago. En ese tiempo la única comunicación eran las radios y los caminos estaban cortados por los efectos del terremoto. Sólo una semana después supo de su familia, porque alguien escuchó en radio Cooperativa que “la familia Sarrazin estaba bien”. Eso lo marcó para dedicarse luego a la ingeniería sísmica.

En sus vínculos con otros ingenieros destaca al Instituto de Ingenieros, del cual ha sido Director varias veces, al Colegio de Ingenieros, la Asociación de Ingenieros Civiles Estructurales, ACHISINA, la Academia de Ingeniería, de la cual es Presidente y la Asociación Internacional de Ingeniería Sísmica, entre otras instituciones.



Una mención especial es para su esposa con quien cumplió recientemente 50 años de casados y lo ha acompañado en todas sus aventuras. Tienen cuatro hijos y doce nietos. Se define en pocas palabras como una persona realizada, tanto profesionalmente como familiar y socialmente, que ha podido hacer lo que más le gusta y ha tratado de contribuir siempre a la sociedad. Entre sus valores señala la tolerancia y la tenacidad.

Como experiencias memorables y únicas que lo han marcado como ser humano, se puede mencionar la relación que ha tenido con la comunidad mapuche de Tirúa. Junto a su señora, ha mantenido una relación con la comunidad del Lonko Teodoro Huenumán y su familia. Todos los años van a visitarlos y conocen mucha gente mapuche en esa comunidad, con las que comparten y a través de las cuales han conocido su cultura, creencias y aspiraciones. Con el Lonko fueron amigos hasta que falleció y por ello siente un gran respeto por el pueblo mapuche.

Otra actividad interesante que ha desarrollado ha sido el vínculo establecido con la Escuela San Luis Beltrán de Pudahuel, para estudiantes muy pobres en la cual su esposa ha sido profesora.

Cuando se trata de mirar la ingeniería en la historia, recuerda que usó la regla de cálculo en primer y segundo año de ingeniería. Después, usó las calculadoras electrónicas. En su memoria ocupó un computador que usaba cinta perforada y que tenía una “gran memoria secundaria” de 2Kbyte. Era una memoria de tambor magnético. El desarrollo, según él, ha sido vertiginoso tanto en las tecnologías asociadas a la ingeniería como

en el desarrollo de nuevos materiales. Eso lleva en paralelo a una necesidad de desarrollar habilidades conversacionales, cursos del área humanista y relaciones personales. También las técnicas de enseñanzas han ido cambiando, de hecho, todos los cursos tienen ahora una página en internet a través de la cual se comunican con sus alumnos. Antes se tomaban apuntes, ahora todos tienen acceso a información casi sin límites desde un teléfono celular. Los profesores deben cuidarse de lo que dicen, pues los alumnos pueden comprobar en línea si es verdad lo que están aseverando.

Esto seguirá avanzando y cambiando, sostiene. El desarrollo de la inteligencia artificial, la automatización, la robótica, las TICs, los nuevos materiales, ya están teniendo un gran

impacto. Habrá una tendencia hacia realizar menos trabajo físico y más trabajo intelectual. Las carreras de ingeniería van a tener que modificarse y la enseñanza misma de la ingeniería va a ser diferente.

A la hora de aconsejar a los futuros ingenieros, les pide que sean auténticos y que siempre consideren las inquietudes de los demás. La Universidad les da herramientas, lo correcto es que las usen bien. También señala que es importante que trabajen en cosas que sean útiles para la sociedad, lo que implica una mayor satisfacción. Concluye diciendo: “les aconsejaría ser humildes y que aprecien los aportes de otros profesionales”. En el futuro será cada vez más importante el trabajo multidisciplinario.



SALLY BENDERSKY.

Camino a la plenitud.

Hija de padre argentino y madre rumana. De niña le gustaban las matemáticas, pero tenía más facilidades para las materias humanistas y por ello quería dedicar su vida al servicio. Sin embargo, su hermano mayor y casi todos sus primos estudiaban ingeniería. Entonces, quiso demostrar que las mujeres podían hacer lo mismo que los hombres. Y lo demostró con creces. Eligió la Universidad de Chile y estando allí, disfrutó del cálculo, la física, la mecánica racional, el análisis de sistemas, las operaciones unitarias y la físico-química. Entre los profesores que influenciaron su formación, recuerda a Moisés Mellado y Patricio Marchant.

Estando en quinto año, hizo su práctica profesional en la formulación de un sustituto lácteo en el Centro Proteico Industrial de IFOP, que más adelante fue trasladado al Instituto de Desarrollo Tecnológico de CORFO (INTEC). Esto marcó el inicio de su ejercicio profesional como ingeniera química. Fue contratada para trabajar en el área de nutrición, donde lo hizo hasta 1976. Participó en la formulación del sustituto lácteo que se comercializó con el nombre de Superchil.

En INTEC fue directora ejecutiva y participó activamente en proyectos de introducción de tecnologías más limpias. También le correspondió introducir la informática bancaria en los Bancos Osorno y O'Higgins (hoy Banco Santander).



Fue embajadora de Chile en Israel, donde participó en la promoción de intercambio comercial y tecnológico, en difusión de la actividad tecnológica chilena e israelí y en la promoción de convenios empresariales tecnológicos. Como directora de la División de Educación Superior trabajó en la formulación de leyes y reglamentos, mejoramiento de la gestión de ayuda estudiantil y de subsidio estatal a las universidades y en la promoción de la formación técnica y profesional. Como Presidenta del Directorio del Puerto Coquimbo, incorporó

una concepción integrada de liderazgo que permitió mejorar la identidad del puerto y sistematizar la gestión de los procesos funcionales.

Entre sus aportes a la ingeniería, se pueden señalar la Innovación en la gestión de empresas a través del reconocimiento de la importancia de las relaciones entre personas, con una mirada estratégica, de largo plazo y con variables fundamentales, como la complejidad, incertidumbre, volatilidad y ambigüedad que han dejado obsoletos los métodos de diseño y planificación tradicionales; el desarrollo y práctica de un liderazgo compatible con la gerencia de las empresas y la transferencia de buenas prácticas observadas en los distintos ámbitos de acción y en el extranjero

Un hecho con el que tuvo que lidiar durante su carrera profesional, fue el de la discriminación por género. Es así como más de alguna vez fue cuestionada por defender apasionadamente sus ideas sobre proyectos y también tuvo que vivir un despido arbitrario. Sin embargo, esto para ella nunca fue tema, sólo ahora en la perspectiva del tiempo y cuando el tema género es relevante, ha tomado conciencia de la cultura en la que estaba inserta.

Destaca entre sus vínculos con ingenieros, el pertenecer al directorio del Instituto de ingenieros y al de la Academia de Ingeniería. También es socia del Colegio de Ingenieros, mentora de un start-up de innovación tecnológica en la facultad de ingeniería de la U de Chile y miembro de un Comité Consultivo del proyecto Open Beauchef.

En 1986 tuvo una experiencia que cambió su vida al asistir a un taller que fue el comienzo de su transformación. Pocos años después dejó de trabajar en Tecnologías de Información, cuando ya había finalizado su entrenamiento como terapeuta gestáltica y próxima a comenzar su aprendizaje como coach.

Desde que se convirtió en coach, ha integrado el Coaching a la ingeniería. Ambos son parte de lo que Sally es hoy. El Coaching, con su narrativa, y la forma de comprender al ser humano, ha sido tan importante como la ingeniería para su desempeño. La ingeniería le ha ayudado a mirar sistémicamente, y, sobre todo, le ha proporcionado los cimientos estructurales para mantener el foco en las leyes fundamentales

de las disciplinas que practica. El Coaching, por su parte, le ayuda a mirar la ingeniería en un contexto de complejidad y, por lo tanto, amplía su espacio de búsqueda de soluciones a los problemas.

En sus aportes a la enseñanza se cuentan los cursos de Comunicación Efectiva y Liderazgo realizados con estudiantes de ingeniería y postítulos impartidos en la Escuela de ingeniería de la Universidad de Chile. Ha dado charlas en diversas facultades de ingeniería del país donde muestra el aporte del Coaching a la ingeniería. Es autora de varios libros, destacándose “El Emprendedor Novel”. Es fundadora de New Leadership, una empresa que aspira a crear un movimiento global de liderazgo integrativo.

Entre sus experiencias memorables más allá de sus trabajos, se puede mencionar cuando tuvo la oportunidad de tocar al piano, algunas canciones nacionales para el día nacional en su calidad de embajadora, el presenciar el nacimiento de algunos de sus nietos y el haber conocido a las personalidades políticas más importantes del mundo.

Sus talentos destacados son el ser consistente y perseverante, buena tomadora de decisiones, con visión de futuro y buena escritora, además de actriz.

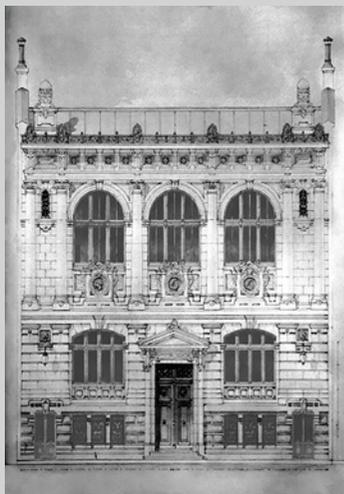
Entre sus valores más importantes están el hacerse responsable y no víctima; el saber gestionar las emociones; alinear el intelecto con otras funciones como las corporales y emocionales, y no sobrevalorar el intelecto; además de valorar lo femenino tanto como lo masculino, respetando la diversidad.

Del futuro de la ingeniería opina que la ve más integrada con otras disciplinas, incluso con las leyes, por el tema de la propiedad intelectual, y ve a los ingenieros interesándose en asuntos que son de personas más que de procesos.

A los ingenieros del futuro, les aconseja que comprendan que la historia no nace con ellos. Por eso, hay que escuchar con paciencia a los ingenieros más viejos, y mostrarles también con paciencia, las ventajas de los cambios que están sucediendo. Integrar pasado y futuro es una conversación que engrandece. También los insta a creer en sus capacidades para hacer que las cosas pasen.



RECONOCIMIENTO A NUESTROS SOCIOS



El Instituto de Ingenieros de Chile, más de un siglo de constante presencia en el progreso de la Ingeniería chilena y en el análisis y debate de diferentes problemas públicos, en que los ingenieros chilenos colaboran desde su perspectiva en sus posibles soluciones. Esta colaboración se materializa en el seno de las Comisiones de Estudio y de las Sociedades Académicas miembros, en charlas y conferencias periódicas o en los foros y seminarios que se convocan para discutir desde distintos ángulos algún asunto de relevancia nacional. Los frutos de esta actividad se difunden por medio de sus publicaciones periódicas, como son la Revista Chilena de Ingeniería y los Anales del Instituto de Ingenieros, y en libros e informes que dan cuenta de la labor efectuada por los miembros del Instituto y otros participantes en las actividades señaladas.

Para sustentar este quehacer, el Instituto mantiene una sede social y una infraestructura que le proporciona el apoyo técnico-administrativo y de servicios, lo que es financiado por sus miembros, ya sea mediante las cuotas sociales o aportes extraordinarios. El trabajo realizado durante estos largos años, ha sido posible gracias al compromiso de sus asociados y a la contribución económica de sus socios activos y cooperadores. Por este motivo, se ha estimado necesario dejar constancia de quienes, en el período anterior, realizaron aportes pecuniarios, permitiendo así que el Instituto mantenga el respaldo necesario para el cumplimiento de sus objetivos.

A nuestros socios este especial reconocimiento.

Patricio Ábalos Labbé
 Patricio Aceituno Gutiérrez
 Hugo Acuña Sfrasani
 Renato Agurto Colima
 Luis Alarcón Cárdenas
 José A. Aldunate Rivera
 Raquel Alfaro Fernandois
 Eliana Almendras Carvajal
 Raúl Álvarez López
 Iván Álvarez Valdés
 Andrés Amenábar Délano
 Jorge Andaur Rodríguez
 Carlos Andreani Luco
 Rudolf Araneda Kauert
 Luis Aravena Nuñez
 M^a Angélica Arellano Escalera
 Luis Arrau del Canto
 Elías Arze Cyr
 Pedro Arze Cyr
 Dante Bacigalupo Marió
 Marcial Baeza Setz
 Carlos Barría Quezada
 Cristián Barrientos Gutiérrez
 Juan Carlos Barros Monge
 Nelson Basso Cáceres
 Bruno Behn Theune

Sally Bendersky Schachner
 J. Sebastián Bernstein Letelier
 Sergio Bitar Chacra
 Leonardo Bitrán Bitrán
 Patricio Bonelli Canales
 Jorge Bravo Espinosa
 Mateo Budinich Diez
 Rodolfo Camacho Flores
 Juan Enrique Cannobbio Salas
 Manuel Carracedo Contador
 Vicente Caruz Middleton
 J. Manuel Casanova Préndez
 Juan E. Castro Cannobbio
 Jorge Cauas Lama
 José Ceroni Díaz
 Aldo Cipriano Zamorano
 Luciano Claude Yávar
 Carlos Coll Mori
 Paolo Cominetti Cotti-Cometti (†)
 Silvana Cominetti Cotti-Cometti
 Gastón Concha Fariña
 Milciades Contreras Gosik
 Joaquín Cordua Sommer
 Luis Court Moock
 Fernando Crespo Romero
 Juan Humberto Cruz Rodríguez

Pablo Daud Miranda
 Jeffrey James Dawes
 José de Gregorio Rebeco
 Juan Pablo de la Carrera
 Raúl Demangel Castro
 Sergio Délano Concha
 Joaquín Díaz Quiroga
 Rodrigo Díez Martínez
 Esteban Domic Mihovilovic
 Fernando Echeverría Acuña
 Raúl Espinosa Wellmann
 Gustavo Estay Caballero
 Javier Etcheberry Celhay
 Hans Feddersen Jungjohann
 Víctor Figueroa De la Fuente
 Alberto Figueroa Velasco
 Sebastián Fingerhuth Massmann
 Alvaro Fischer Abeliuk
 Guillermo Flores Gálmez
 Andrés Fuentes Torres
 Martín Fuenzalida Domínguez
 Roberto Fuenzalida González
 Tristán Gálvez Escuti
 Luis Garay Lobos
 Javier García Monge
 Alex Gildemeister Burgos

Arturo Goldsack Jarpa	Nicolás Majluf Sapag	Miguel Ropert Dokmanovic
Rodrigo Gómez Álvarez	Jorge Mardones Acevedo	Hugh Rudnick Van de Wyngard
Ricardo González Cortés	José Martinic Beros	Guillermo Ruiz Troncoso
Héctor González Garrido	Guillermo Matta Fuenzalida	Manuel Ruz Jorquera
Edgardo González Lizama	Sergio Melo San Juan	Felipe Sabando del Castillo
Guillermo González Rees	Carlos Mercado Herreros	Marta Salazar Becerra
Sergio González Venti	Luis Mercado Arce	Hernán Salazar Zencovich
Mauro Grossi Pasche	Germán Millán Pérez	Armando Sánchez Araya
Tomás Guendelman Bedrack	Germán Millán Valdés	Jaime Sánchez Haverbeck
Mario Guendelman Bedrak	Ricardo Mohr Rioseco	Mario Santander García
Felipe Guerrero Martínez	Eduardo Muñoz Castro	Eduardo Santos Muñoz
Germán Guerrero Fuenzalida	Rodrigo Muñoz Pereira	Roberto Sapiain Caro
Sergio Gutiérrez Cid	Juan Music Tomicic	Rodolfo Saragoni Huerta
José Antonio Guzmán Matta	Ricardo Nanjarí Román	Mauricio Sarrazin Arellano
Edgar Happke Abdulmalak	Luis Nario Matus	Alfredo Schmidt Montes
Alejandro Hartwig Carte	Indy Navarro Vidal	Paulo Sepúlveda Amestoy
Cristian Hermansen Rebolledo	Ricardo Nicolau del Roure G.	Jaime Solari Saavedra
Diego Hernández Cabrera	Guillermo Noguera Larraín	Jaime Soto Muñoz
Gonzalo Hernández de la Fuente	Raúl Oberreuter Olivares	Alejandro Steiner Tichauer
Erwin Hoehmann Frerk	Lionel Olavarría Leyton	Ludwig Stowhas Borghetti
Jaime Illanes Piedrabuena	Ricardo Ortega Klose	Jorge Sturms Forestier
Pedro Inojosa Bañados	Ricardo Palma Contesse	Aldo Tamburrino Tavantzis
Eugenio Ipinza Poblete	Verónica Patiño Sánchez	Carlos Tapia Illanes
Juan Izquierdo Besa	Mario Pavón Robinson	Raúl Tejada Sanhueza
Vicente Izquierdo González	Jorge Pedrals Guerrero	Pedro Toledo Correa
Alvaro Izquierdo Wachholtz	Humberto Peña Torrealba	Manfredo Tombolini Jeria
Pablo Jaramillo Barriga	Andrés Pérez Magalhães	Alberto Trigueros Baratta
Miguel Jeanneret Raab	Augusto Pérez Maturana	Raúl Uribe Sawada
Sergio Jiménez Moraga	Andrés Pérez Veloso	Mario Urrutia Yáñez
Jerko Juretić Díaz	Kenneth W. Pickering	Tomás Valderrama Riquelme
Carlos Kubik Castro	Luis Pinilla Bañados	Luis Valenzuela Palomo
Mario Kuflik Derman	Mariano Pola Matte	Felipe Valenzuela Ortiz
Mauricio Lanio Antiquera	Alejandro Polanco Carrasco	Cristián Vargas Araya
Alfonso Larraín Peterson	Olvido Polanco González	Ximena Vargas Mesa
Pedro Lasota Muñoz	Eric Prenzel Leupolt	René Vásquez Canales
Juan Carlos Latorre	Ignacio Quinzacara Sánchez	Solano Vega Vischi
Jaime Lea-Plaza Sáenz	Francisco Rayo Calderón	José Veiga Martínez
Agustín León Tapia	Juan Rayo Prieto	Henry Vergara López
José Miguel Leonvendagar H.	Carlos Rebolledo Ibacache	Gladys Vidal Sáez
Marcos Lima Aravena	Oswaldo Richards Abans	Carlos Vignau Martínez
Julio Lira Ramírez	Lucio Ricke Gebauer	Hans Weber Münnich
Alejandro López Alvarado	Daniel Ríos Figueroa	Andrés Weintraub Pohorille
Edmundo López Estay	Bartolomé Rodillo Pérez	Cristián Weissmann Marcuson
Luis Madrid Morales	Darío Rodríguez Puratich	Francisco Wittwer Opiz
Julio Magri Rabaglio	Gonzalo Rojas Borlaff	Jorge Yutronic Fernández
Juan Maiz Gurruchaga	Gabriel Rojas Brito	Luis Zaviezo Schwartzman

ISSN 0716 - 2340



**ANALES
DEL INSTITUTO
DE INGENIEROS DE CHILE**

Vol. 131, N° 3 - DICIEMBRE 2019

“Uno de los pensamientos que más ha preocupado al Instituto de Ingenieros, desde su fundación, ha sido la creación de un organo que lo ponga en relación con la sociedad, a cuyos intereses trata de servir; i cada día que pasa nos hace ver más i más la necesidad que la corporación tiene de consignar en un periódico las ideas que surjan i que se elaboren en su seno, referentes a los multiplicados i variadísimos ramos de la ingeniería.

En esta virtud, no porque nuestro periódico sea especialmente el órgano del Instituto, dejará de serlo también del país en general, i léjos de esto, creemos obrar en consonancia con nuestro propósito, ofreciendo sus columnas a las personas ilustradas i de buena voluntad que nos honren con el precioso continjente de ideas útiles”.

(Anales del Instituto de Ingenieros. Tomo 1, Año 1, 1888).

Anales del Instituto de Ingenieros Vol. 131, N° 3, diciembre de 2019.

Contenido

DINÁMICA DE MEZCLAS GRANULARES DENSAS Y SECAS SOBRE UN PLANO INCLINADO.

Pág. 79

Francisco Martínez, Aldo Tamburrino y Lautaro Rayo.

DISEÑO DE CONEXIÓN SISMORRESISTENTE BOLTED FLANGE PLATE (BFP); EN PÓRTICOS ESPECIALES A MOMENTO (SMF).

Pág. 95

Roberto Aguiar, Juan Carlos Vielma, Carlos Abella y Gino Pannillo.

MACROS EN MICROSOFT EXCEL PARA EL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS PLANAS UTILIZANDO EL MÉTODO DE RIGIDEZ DIRECTA.

Pág. 111

Nelson López, Juan Carlos Vielma, Leonardo López y Vanessa Montesinos.

Editor

Raúl Uribe Sawada, Instituto de Ingenieros de Chile.

Comité Editorial

Rodolfo Saragoni H., Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica (ACHISINA)

Alexander Chechilnitzky Z., Asociación Interamericana de Ingeniería (AIDIS)

José Vargas B., Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica (SOCHID)

Daniela Pollak A., Sociedad Chilena de Geotecnia (SOCHIGE)

Juan Carlos Herrera M., Sociedad Chilena de Ingeniería de Transporte (SOCHITRAN)

Alonso Barraza San M., PMI Santiago Chile Chapter (PMI, Capítulo Chileno)

Mario Letelier S., Sociedad Chilena de Educación en Ingeniería (SOCHEDI)

Los Anales del Instituto estarán dedicados a la presentación de trabajos técnicos en el área de la Ingeniería y ramas afines, para lo cual acepta colaboraciones tanto del país como del extranjero.

Se publicarán aquellos artículos que, a juicio del Comité Editorial, contribuyan al desarrollo o difusión del conocimiento, de técnicas y métodos o de aplicaciones de importancia en la Ingeniería. Artículos de índole expositiva que unifiquen resultados dispersos o que den una visión integrada de un problema o de una puesta al día de una técnica o área, serán bienvenidos. Del mismo modo, ensayos sobre temas de interés para la profesión como perspectivas educacionales, históricas o similares.

DINÁMICA DE MEZCLAS GRANULARES DENSAS Y SECAS SOBRE UN PLANO INCLINADO

Francisco Martínez ⁽¹⁾, Aldo Tamburrino ⁽²⁾ y Lautaro Rayo ⁽³⁾

RESUMEN

En este estudio se deduce una relación funcional para la ley de resistencia de flujos bidimensionales permanentes y uniformes de medios granulares densos no cohesivos. Esta relación considera que el esfuerzo de corte total actuando sobre el material granular es el resultado de una componente debida a la fricción y otra a la interacción entre granos, que se modela como similar a un fluido dilatante, cuya viscosidad equivalente se supone dependiente del número de Coulomb. De este modo, se obtiene que la ley friccional está dada por una proporcionalidad entre el número de Froude del flujo y la profundidad del flujo. El coeficiente de proporcionalidad depende, entre otros, de dos parámetros que fueron determinados experimentalmente. Los patrones de flujo para esferas plásticas y sedimento natural fueron analizados en una instalación experimental de fondo deslizante, encontrándose diferencias en el comportamiento de ambos materiales, en particular respecto a la presencia de vacíos y grupos de partículas en contacto entre sí, y el efecto que éstos tienen en la movilidad vertical de partículas. Finalmente, una comparación de los perfiles de velocidad obtenidos en el canal de fondo deslizante y en un canal de fondo fijo parece indicar que el primero no representa una transformación galileana del flujo equivalente generado en el segundo.

⁽¹⁾ Ingeniero Civil, PhD. Escuela de Ingeniería Civil, P. Universidad Católica de Valparaíso, Chile. francisco.martinez@pucv.cl

⁽²⁾ Ingeniero Civil, PhD. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Chile. atamburr@ing.uchile.cl

⁽³⁾ Ingeniero Civil, MSc. Saudi Aramco, Arabia Saudita. lautaro.rayo@gmail.com

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Los flujos gravitacionales de material granular

Junto con el agua, los materiales granulares son uno de los elementos más comunes de encontrar en nuestro entorno, interviniendo directamente en varias actividades industriales-comerciales y eventos naturales que, en algunos casos, pueden causar grandes daños tanto a la infraestructura, como la población (Duran, 1999 y 2003; Andreotti et al., 2011). El comportamiento general de estos materiales posee algunas características bien distintas, como el fenómeno de dilatancia descrito en forma pionera por Reynolds (1885). Desde el punto de vista friccional estos medios son altamente disipativos, lo que queda de manifiesto cuando formamos un apilado granular sobre una mesa. Sin embargo, aun cuando esta disipación pueda ser significativa, estos flujos exhiben una gran movilidad espacial cuando ocurren en largas escalas geográficas, como es el caso de flujos piroclásticos (Branney & Kokelaar, 2002) y los flujos de aluviones y detritos (Iverson, 1997; Takahashi, 2019).

Esta movilidad se ha tratado de atribuir a efectos de fluidización del lecho y de segregación, agentes responsables de reorganizar los granos durante el movimiento (Savage & Lun, 1988). Incluir todos estos efectos dentro de una misma teoría es casi-imposible, razón por la cual el tratamiento de estos materiales es considerado uno de los grandes desafíos de la ciencia y la ingeniería actual.

En esta línea se insertan los escurrimientos gravitacionales de material granular, que corresponden esencialmente a flujos de partículas sólidas inmersas en un fluido intersticial, que puede ser gas o líquido y que se movilizan por la acción de la gravedad (Wang & Hutter, 2001). Dependiendo de su origen, tipo de sólidos y fluido involucrados, estos flujos pueden clasificarse como flujos de detritos, flujos piroclásticos, lahares, aluviones o simplemente avalanchas granulares, como muestra la Figura 1.

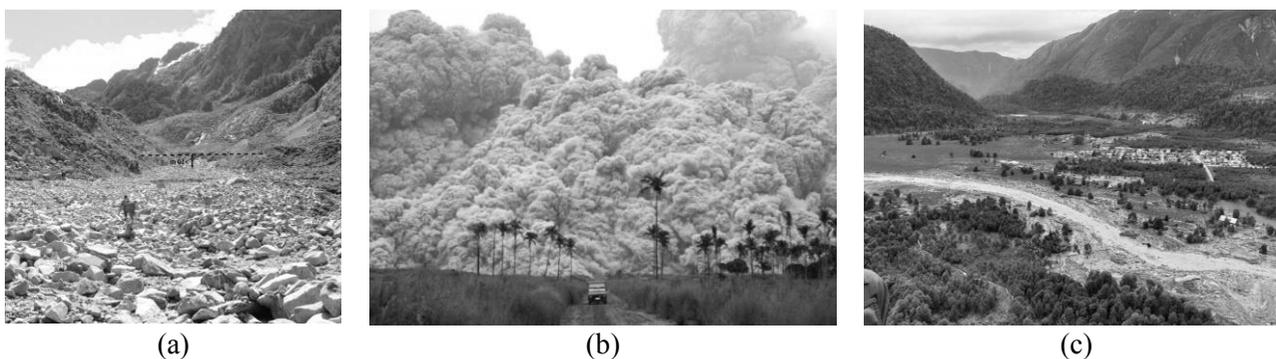


Figura 1. Diferentes tipos de flujos gravitacionales de material granular encontrados en la naturaleza. Caso a) avalanchas de roca en Punta Cola (Chile), b) imagen de una corriente piroclástica y c) aluviones de la Villa Santa Lucia ocurridos el 2017 (imágenes extraídas de *Google Images*).

Cuando los efectos del fluido intersticial sobre las partículas sólidas son despreciables y no se observan efectos de cohesión significativos, como ocurre con el caso de mezclas aire-grano, estos flujos también pueden calificarse como “secos”. Si, además, las interacciones dinámicas entre los granos ocurren por contactos sostenidos y que involucran más de dos partículas, ya

podemos hablar de flujos dominados por fricción intergranular o simplemente “friccionales”. Por el contrario, cuando estos contactos ocurren preferentemente vía colisiones binarias, preferentemente de tipo inelástico y en intervalos de mucha menor duración, podemos hablar de flujos en régimen “colisional”.

Aunque resulte paradójico, si bien existen varias diferencias de los flujos granulares con el escurrimiento de líquidos o gases puros, su modelación ha apelado históricamente a las teorías clásicas que describen estos estados termodinámicos. En el caso de escurrimientos granulares densos y donde las variaciones más significativas ocurren en la dirección principal del flujo, se ha recurrido típicamente a las ecuaciones de aguas poco profundas (*shallow-water equations*), que pueden ser obtenidas a partir de la integración de las ecuaciones de Navier-Stokes. Sin embargo, la aplicabilidad de este sistema comenzó a ser explorada sólo a comienzos de la década de los 90 (Savage & Hutter, 1989), con resultados aceptables para mezclas solido-sólido y algunas mezclas de tipo solido-líquidas que ocurren a escala geofísica, como es el caso de las avalanchas de roca, avalanchas de nieve y algunos flujos de mezclas hipercontradas como, por ejemplo, flujos de barro y detritos o el rompimiento de presas de relaves mineros, por nombrar algunos. Pero aún persisten varios desafíos. Por ejemplo, la inclusión de los efectos de polidispersión de tamaños, de anisotropía en las propiedades de transporte inducidas por la irregularidad del factor de forma y textura de los granos o los propios efectos reológicos de la mezcla, son factores aun pobremente comprendidos que juegan un rol importante en esta dinámica, pero que aún no han podido ser integrados en un modelo unificador.

Si el caso anterior muestra la apertura de un camino para la modelación ingenieril de flujos granulares densos y friccionales, el escenario propuesto por flujos de baja concentración ha dado lugar a otra fenomenología, tanto o más compleja que el caso anterior. La literatura reporta evidencia experimental sobre este tipo de flujos, caracterizados por su alta energía cinética y que escurren por topografías muy abruptas o incluso en condiciones

fluidizadas, favoreciendo la interacción entre granos vía colisiones de corta duración, más que por contactos prolongados como sería el caso de flujos más densos. Haff (1983), Lun et al. (1984) y Savage (1984) comenzaron a adaptar conceptos provenientes de la teoría cinética de gases expuesta por Chapman and Cowling (1954, reeditado 1990) para tratar estas situaciones, desarrollando la teoría cinética de medios granulares. Si bien esta formulación puede aplicarse a un número de partículas suficientemente alto, los gases granulares poseen varias diferencias con el caso molecular y que se relacionan esencialmente con el carácter inelástico de las colisiones, lo que obliga a sostener una inyección de energía mecánica externa al flujo, sumado a dificultades en la definición de una separación clara entre las escalas micro y macroscópicas características del flujo (Andreotti et al., 2011).

Con todo lo anterior, queda en evidencia la carencia de una teoría unificadora que permita dar cuenta de la diversidad de comportamientos que exhibe un medio granular en movimiento. En este contexto se inserta este estudio, cuyo objeto es abordar la dinámica de un flujo granular denso y seco que escurre sobre un plano inclinado, tanto desde un punto de vista teórico, como experimental. Los objetivos son dos: por un lado, determinar las leyes de fricción que caracterizan la dinámica del flujo en régimen uniforme y permanente y por otro lado, determinar la validez del uso de una instalación experimental que permite generar un flujo granular estacionario, analizando cualitativa y cuantitativamente las características de los patrones de movimiento generados por diversos tipos de material granular.

1.2 Formulación teórica

Las ecuaciones del flujo bidimensional de un material granular no cohesivo sobre un plano inclinado se obtienen de la aplicación del principio de continuidad y del teorema de la cantidad de movimiento al volumen de control que se esquematiza en la Figura 1.

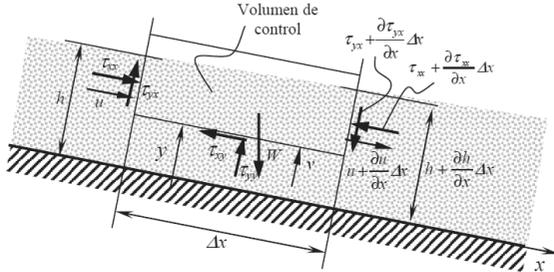


Figura 2. Volumen de control usado para la formulación teórica del problema.

De acuerdo a Guyon et al (2012), la expresión general de la ecuación de continuidad puede escribirse como:

$$(1) \quad \frac{\partial m}{\partial t} + G_s - G_e = 0$$

donde m es la masa contenida en el volumen de control V_c y G_s, G_e denotan los gastos máscicos que ingresan y salen de V_c respectivamente, al instante t . Resolver esta ecuación y las variables involucradas desde el punto de vista diferencial puede resultar no solo complejo, sino que además inapropiado considerando las diversas escalas de longitud presentes en el flujo. Debido a esto, resulta más adecuado promediar espacialmente las variables indicadas en el esquema conceptual de la Figura 2, bajo el cual la ecuación (1) se escribe como:

$$(2) \quad \frac{\partial(\langle \rho_m \rangle (h-y))}{\partial t} + \frac{\partial(\langle \rho_m u \rangle (h-y))}{\partial x} - \langle \rho_m v \rangle = 0$$

Donde $\langle n \rangle = \frac{1}{h-y} \int_y^h n dy$ denota el promedio espacial de una cierta cantidad o propiedad n entre las posiciones (y, h) , siendo h la profundidad del flujo y ρ_s la densidad de la mezcla fluido-granular. De acuerdo a la teoría de flujos bifásicos (Fortier, 1967), la densidad de esta mezcla puede calcularse como $\langle \rho_m \rangle = \rho_s \langle c \rangle + (1 - \langle c \rangle) \rho_f$, donde ρ_s es la densidad de la fase sólida, ρ_f la densidad del fluido y $\langle c \rangle$ representa la concentración local de sólidos. Para el caso de flujos granulares densos, esta concentración resulta cercana a la de empaquetamiento c_m y entonces, tanto la densidad como la concentración pueden considerarse constantes en todo el dominio del flujo, esto es, $\langle c \rangle \approx c_m$ y $\langle \rho_m \rangle \approx \rho_m$. Con todo esto, la ecuación de continuidad se reduce a:

$$(3) \quad \frac{\partial(h-y)}{\partial t} + \frac{\partial(\langle u \rangle (h-y))}{\partial x} - \langle v \rangle = 0$$

El otro ingrediente de esta formulación lo aporta el teorema de la cantidad de movimiento (TCM), el cual se expresa como (Guyon et al, 2012):

$$(4) \quad \sum \vec{F} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{V_c} \rho_m \vec{v} dV + \int_{S_c} \rho_m \vec{v} (\vec{v} \cdot \hat{n}) dS$$

Donde $\sum \vec{F}$ es la fuerza resultante de la acción de los esfuerzos normales, tangenciales y el peso del material contenido en el volumen de control, $\vec{v} = (u, v)$ es el vector velocidad y \hat{n} es el vector unitario normal a la superficie de control S_c que encierra a V_c . Al aplicar (4) al volumen mostrado en el esquema anterior, resultaran las ecuaciones del movimiento en las direcciones (x, y) :

$$(5) \quad \rho_m \frac{\partial(\langle u \rangle (h-y))}{\partial t} + \rho_m \frac{\partial}{\partial x} (\beta_u \langle u \rangle^2 (h-y)) = -\langle \tau_{xy} \rangle - \frac{\partial}{\partial x} (\langle \tau_{xx} \rangle (h-y)) + \rho_m g (h-y) \sin \theta$$

$$(6) \quad \rho_m \frac{\partial(\langle v \rangle (h-y))}{\partial t} + \rho_m \beta_v \langle v \rangle^2 = \langle \tau_{yy} \rangle - \frac{\partial}{\partial x} (\langle \tau_{yx} \rangle (h-y)) - \rho_m g (h-y) \cos \theta$$

Donde θ es el ángulo que forma el fondo con la horizontal y (β_u, β_v) corresponden a los coeficientes de Boussinesq asociados a las componentes (u, v) , respectivamente. Siguiendo la teoría de empujes de tierra de Coulomb, el esfuerzo normal $\langle \tau_{yy} \rangle$ se relaciona con el esfuerzo $\langle \tau_{xx} \rangle$, siguiendo la ley $\langle \tau_{yy} \rangle = k_{a/p} \langle \tau_{xx} \rangle$, donde $k_{a/p}$ es el coeficiente de presión activo/pasivo y cuya estructura puede ser consultada en un buen texto de Mecánica de Suelos (e.g. Terzaghi, 1943). Considerando entonces un flujo permanente y uniforme sobre un plano inclinado, el sistema (5)-(6) se reduce a:

$$(7) \quad \langle v \rangle = \frac{\partial}{\partial x} (\langle u \rangle (h-y)) = 0$$

$$(8) \quad \langle \tau_{xy} \rangle = \rho_m g (h-y) \sin \theta$$

$$(9) \quad \langle \tau_{yy} \rangle = \rho_m g (h-y) \cos \theta$$

La dificultad de este sistema se relaciona con la adecuada modelación del término $\langle \tau_{xy} \rangle$. En el caso de fluidos, como el agua, estos esfuerzos son proporcionales a la viscosidad del líquido y el gradiente de velocidad medido en una zona cercana a la pared, entendiendo así que es en esa zona donde el fluido disipa su energía por fricción. En un medio granular esta interacción es más compleja y el esfuerzo tangencial debe tomar en cuenta no solo las interacciones dinámicas fluido-sólido, sino también las fuerzas que se derivan de la fricción entre partículas y la fricción de la fase fluida por si sola.

En el caso de flujos granulares secos, el fluido intersticial es aire y por lo tanto usualmente se pueden despreciar los esfuerzos asociados a la fase fluida, en comparación con los esfuerzos de la fase sólida. Con ello, solo sobrevive la interacción sólido-sólido que puede considerarse como el resultado de dos efectos: una componente friccional de tipo coulombiana $\langle \tau_{xy} \rangle_w$ y otra, asociada a la transferencia de momentum debido a las colisiones entre los granos y el roce resultante de su movimiento relativo, $\langle \tau_{xy} \rangle_D$. Si consideramos una superposición lineal de ambos efectos se tiene que $\langle \tau_{xy} \rangle = \langle \tau_{xy} \rangle_w + \langle \tau_{xy} \rangle_D$.

Por otro lado, en un medio granular no cohesivo, este esfuerzo coulombico está dado por la relación de proporcionalidad:

$$(10) \quad \langle \tau_{xy} \rangle_w = \mu \langle \tau_{yy} \rangle$$

Donde $\mu = \tan \phi$ es el coeficiente de fricción en función del ángulo de fricción interna ϕ del material granular y $\langle \tau_{yy} \rangle$ está dado por (9). La componente dinámica $\langle \tau_{xy} \rangle_D$ se asocia a la interacción entre granos y es un término de difícil modelación. Al respecto, se han propuesto varias formulaciones que apelan esencialmente a conceptos de reología de mezclas, enfoque que parece ser pertinente en flujos de alta concentración (Takahashi, 2019). En esta dirección, el flujo de material granular denso se puede considerar análogo al de un fluido dilatante con una ley constitutiva del tipo $(\tau_{xy})_D = K \dot{\gamma}^n$, donde $\dot{\gamma} = \frac{\partial u}{\partial y}$ es la tasa de deformación angular, K el segundo coeficiente de viscosidad y $n > 1$ un coeficiente.

Promediando este término, obtenemos:

$$(11) \quad \langle \tau_{xy} \rangle_D = \frac{K}{h-y} \int_y^h \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n dy = a_0 \left(\frac{\langle u \rangle}{h-y} \right)^n$$

Donde a_0 es una constante de integración que reúne los parámetros físicos del flujo y de los granos (e.g. K), como el factor de forma del perfil de velocidades. Combinando las ecuaciones (8), (10) y (11) obtenemos:

$$(12) \quad a_0 \left(\frac{\langle u \rangle}{h-y} \right)^n = \rho_m g (h-y) \frac{\sin(\theta - \phi)}{\cos \phi}$$

En particular, evaluando en el fondo del canal ($y = 0$) se tiene $a_0 \left(\frac{\bar{u}}{h} \right)^n = \rho_m g h \left(\frac{\sin(\theta - \phi_0)}{\cos \phi_0} \right)$, donde ϕ_0 es el ángulo de fricción entre el material granular y el fondo del canal y $\bar{u} = \frac{1}{h} \int_0^h u dy$ es el promedio de velocidad del flujo en toda su profundidad. Reorganizando términos, podemos escribir (12) como:

$$(13) \quad A Fr^n = \frac{\sin(\theta - \phi_0)}{\cos \phi_0}$$

Donde, $Fr = \frac{\bar{u}}{\sqrt{gh}}$ es el número de Froude y $A =$

$\frac{a_0}{\rho_m g h} \left(\frac{g}{h} \right)^{n/2}$ es una constante que reúne las propiedades del flujo y del material. Aquí tenemos una discusión interesante; el lado izquierdo de (13) no se conoce, ya que depende tanto de las propiedades del flujo, como de la ley constitutiva con las que se caracteriza el material. Sin embargo, siguiendo la teoría de Bagnold (1954) puede plantearse a priori que es una función de los esfuerzos dispersivos debido a las colisiones entre granos y los esfuerzos normales actuando sobre ellos.

De acuerdo a Ancey (2001), una medida de la razón de estos esfuerzos está dado por el número de Coulomb $Co = \frac{\rho_s \dot{\gamma}^2 d^2}{\langle \tau_{xy} \rangle}$, siendo d el tamaño medio de los granos. Un régimen $Co \ll 1$ indica que el flujo está dominado por la fricción grano-grano encasillando estos flujos como “friccionales”, mientras que $Co \gg 1$ sugiere un régimen dominado por esfuerzos dispersivos, encasillando a estos flujos como “colisionales” y cuyas características básicas fueron descritas anteriormente. Al igual que el número de Bagnold, la variabilidad del número de Coulomb es un elemento de decisión respecto de la de la modelación más adecuada a utilizar.

Volviendo a nuestro esquema, en el fondo del canal el número de Coulomb se escribe como:

$$(14) \quad Co = \frac{1}{\cos \theta} \left(\frac{\rho_s}{\rho_m} \right) Fr^2 \left(\frac{d}{h} \right)^2$$

Si postulamos que la función $A Fr^n$ depende del número Co , tenemos entonces que $\frac{\sin(\theta - \phi_0)}{\cos \phi_0} = \zeta = f(Co)$.

Denotando por $g = f^{-1}$ y expresando el número de Coulomb en términos de Fr , tenemos:

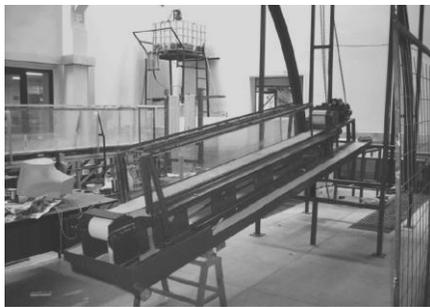
$$(15) \quad Fr^2 = \cos \theta \left(\frac{\rho_s}{\rho_m} \right) \left(\frac{h}{d} \right)^2 g(\zeta)$$

Esta última relación sugiere que debe existir una relación entre el Fr y la profundidad h de flujo, es decir, $Fr \simeq h$. Esto ha sido propuesto en estudios anteriores de avalanchas sobre planos inclinados, con lechos constituidos por micro-esferas (GDR Midi, 2004; Pouliquen, 1999). A partir de (13) y conocida la función f , es posible determinar los parámetros a_0, n de la ley constitutiva asociada a $(\tau_{xy})_D$.

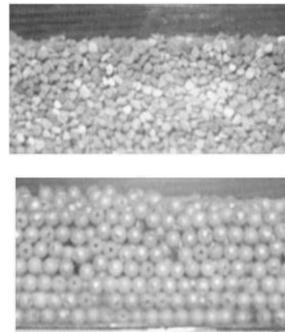
2 ESTUDIO EXPERIMENTAL

2.1 Características del montaje experimental

Una de las instalaciones experimentales utilizadas en el estudio es un canal de fondo deslizante, que consiste en un estanque de pendiente de fondo variable, paredes de vidrio y una cinta deslizante en el fondo, que se mueve por la acción de un motor de velocidad regulable (Figura 3). La longitud útil es 2,5 m, con un ancho y alto de 0,30 y 0,50 m, respectivamente. Este tipo de instalación ha sido utilizada en flujos de agua y de mezclas de barro. Se



(a)



(b)

Figura 3. a) Imagen del canal de fondo deslizante ubicado en el Lab. F. J. Dominguez de la U. de Chile y algunas fotografías sobre el flujo de sedimentos naturales (sup.) y de esferas plásticas (inf.), que fueron usadas en el estudio (Martínez, 2008).

La segunda instalación experimental empleada, corresponde a un canal tradicional de laboratorio, de paredes de acrílico de 50 cm de alto. El fondo del canal está constituido por el mismo material de la cinta deslizante de la instalación anterior. El canal tiene 20 cm de ancho y una longitud de 3 m. El material granular se alimenta desde un estanque de alimentación instalado en el extremo superior del canal, que tiene sus paredes inclinadas para facilitar un flujo continuo de los granos. Este estanque tiene una compuerta plana, cuya abertura puede ser regulada, para controlar la altura del flujo. El material granular empleado en los experimentos corresponde a sedimento natural ($d_{50}=6, 11$ y 15 mm, $\rho_s = 2,6$ gr/cm³) y esferas plásticas ($d=5,7$ mm, $\rho_s=1,17$ gr/cm³). El ángulo de reposo promedio del sedimento natural es $25,6^\circ$ y el de las esferas $14,0^\circ$. En ambos casos

ha demostrado que el uso de este tipo de canales equivale a un cambio del sistema de referencia, desde uno fijo al laboratorio a otro que se mueve con la velocidad media del flujo (Tamburrino and Gulliver, 1992), o a un sistema que se mueve con la velocidad del frente de una onda (Niño et al., 1997). Recientemente, Perng et al. (2006) han reportado el uso de un canal de fondo deslizante para el estudio de flujos granulares, siendo el objetivo de su estudio el análisis del movimiento de las partículas.

la concentración de empaquetamiento se encuentra alrededor $c_{max} \approx 65\%$.

Las esferas plásticas se ensayaron en las dos instalaciones. No se generaron flujos de sedimento natural en el canal de paredes de acrílico con el objeto de que éstas no se dañaran por abrasión, ni se viera perturbada la visualización del flujo. El movimiento de las partículas se registró con una cámara de video de alta velocidad, modelo VCF-300 de FOR.A Company Ltda. Los campos de velocidades se determinaron mediante técnicas ya clásicas, como PIV (*Particle Image Velocimetry*) y PTV (*Particle Tracking Velocimetry*), cuyos principios de operación ya se encuentran bien descritos en la literatura (e.g. Tropea and Yarin, 2007).

2.2 Condiciones experimentales

Las experiencias consistieron en generar flujos granulares permanentes uniformes y medir bajo estas condiciones, las distribuciones verticales de velocidad $\langle u(y) \rangle$ de las partículas adyacentes a las paredes de los canales. Aunque estas distribuciones están influenciadas por su cercanía a esta frontera, este efecto se considera menor que en el caso de fluidos, ya que no existe la condición de no deslizamiento. Para lograr el escurrimiento uniforme en el canal de fondo deslizante, se predefinían la altura y

velocidad de la cinta, y se variaba la pendiente del canal hasta lograr flujo uniforme. Para el canal tradicional, se fijaba la pendiente y definía la abertura de la compuerta plana, y se medía la altura de escurrimiento en el tramo en el cual se alcanzaba la condición de flujo uniforme. El rango de condiciones experimentales ensayadas para el sedimento natural en el canal de fondo deslizante se presenta en la Tabla 1 y las condiciones de ensayo para las esferas en la Tabla 2.

Tabla 1. Rango de condiciones experimentales en el canal de fondo deslizante para sedimento natural

d_{50} (mm)	θ (°)	U (m/s)	h (m)
6	29,48 – 31,71	0,378 – 1,183	0,042 – 0,088
11	29,68 – 32,19	0,38 – 1,040	0,054 – 0,120
15	29,87 – 31,90	0,377 – 0,997	0,060 – 0,110

Tabla 2. Rango de condiciones experimentales en el canal de fondo fijo y deslizante para esferas plásticas

CANAL	d_{50} (mm)	θ (°)	U (m/s)	h (m)
Fondo deslizante	5,77	15,5 – 17,6	0,382 – 0,834	0,038 – 0,087
Fondo fijo	5,77	18 – 20	0,072 – 0,129	0,029 – 0,046

En caso del canal de fondo deslizante, la velocidad U corresponde a la velocidad de la cinta, la que es equivalente a la velocidad media \bar{u} del flujo en un sistema de referencia solidario a ella. Para el flujo en el canal de

fondo fijo, U corresponde a la velocidad media que resulta de la integración de la distribución vertical de velocidades de los granos.

3 RESULTADOS EXPERIMENTALES

3.1 Determinación de leyes de fricción

En la Figura 4 se presenta el resultado de todas las experiencias, en término de las cantidades adimensionales ζ y Co presentadas anteriormente. En la identificación de los símbolos en la figura, L se refiere a los ensayos realizados en el canal de fondo deslizante utilizando todo el largo útil del canal y $L/2$, cuando se usa solo la mitad de dicho largo. Aunque la expresión de ζ involucra al ángulo de fricción entre el material granular y el fondo, en la Figura 4 se utilizó el ángulo de reposo del material ϕ .

Si bien existe una dispersión no despreciable en los datos, se observa que el sedimento natural tiende a agruparse según una sola tendencia, independientemente de su tamaño y la longitud de la instalación experimental. En cambio, el comportamiento de las esferas plásticas no muestra un comportamiento claro ni por tipo de material, ni según el tipo de instalación experimental empleada, acercándose más a la tendencia que sigue el sedimento natural en el canal de fondo deslizante. Estas discrepancias podrían atribuirse a las diferencias en las características físicas del material ensayado, las que no estarían completamente definidas por el tamaño d_{50} , el ángulo de reposo y la densidad de los granos.

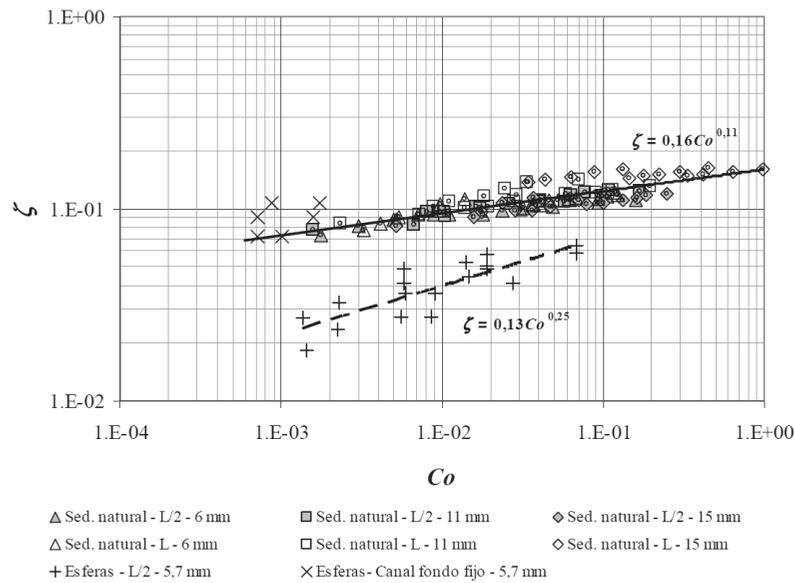


Figura 4. Relación entre los parámetros ζ y Co .

No obstante, parece razonable concluir que existe de todos modos una dependencia entre ζ y el número de Coulomb del tipo:

$$(16) \quad \zeta = \alpha Co^\beta$$

Para los ensayos en el canal de fondo deslizante, un ajuste del par (α, β) mediante mínimos cuadrados arroja los valores $(0,16; 0,11)$ para el sedimento natural y $(0,13; 0,25)$ para las esferas plásticas. Reemplazando las definiciones de ζ y Co en (16), se obtiene la ley de resistencia:

$$(17) \quad Fr = \left(\cos \theta \frac{\rho_s}{\rho_m} \right)^{1/2} \left(\frac{1}{\alpha} \frac{\sin(\theta - \phi_0)}{\cos \phi_0} \right)^{\frac{1}{2\beta}} \frac{h}{d}$$

La relación (17) adopta la forma de las leyes de escala propuestas por otros autores. En particular, se observa una semejanza con la relación de Pouliquen (1999), del tipo $Fr = B \frac{h}{h_{stop}}$, donde B es una constante que toma el valor 0,136 y h_{stop} corresponde al espesor de la capa de material cuando se detiene el flujo y es una función del ángulo θ , el tamaño de las partículas y la rugosidad del lecho. Es interesante notar que los valores (α, β) determinados en este trabajo, muestran que la ley de resistencia es altamente dependiente de θ y aunque en la práctica toma un rango de valores relativamente estrecho, pequeñas variaciones en su valor, tiene grandes efectos en la velocidad del flujo.

3.2 Patrones del movimiento de granos

3.2.1 Acerca del flujo de sedimentos naturales

Una de las características distintivas del flujo de sedimento natural en el canal de fondo deslizante, fue que la obtención de la condición de flujo uniforme resultó ser altamente sensible a la pendiente del canal, debiendo variarse muy poco, aún frente a grandes variaciones de velocidad del fondo, altura de flujo y tamaño de las partículas. Esta observación coincide con lo reportado en el estudio de Perng et al. (2006) en sus experimentos, pero discrepa con los obtenidos para flujos granulares en canales tradicionales (Pouliquen, 1999; Ancy, 2001; Larcher et al., 2007). Evidentemente, esta observación indica la existencia de efectos en el canal de fondo deslizante que no están presentes en canales tradicionales. Uno de ellos podría ser la presencia de las paredes normales al flujo que definen la zona experimental, cuyo contacto con los granos podría crear cadenas de contacto capaces de transmitir esfuerzos en la dirección del flujo, adicionales a los considerados en el volumen de control de la Figura 2.

Por otro lado, la velocidad del flujo inducida por la cinta juega un rol importante al momento de discriminar entre un régimen u otro exhibido por el flujo, sea este dominado por fricción intergranular o colisional. Para velocidades del fondo entre 38 y 50 cm/s aprox., se observan contactos prolongados entre partículas, los que se extienden prácticamente a través de todo el medio granular. En este caso, la altura media del flujo queda bien definida identificando fácilmente la superficie libre del flujo.

Una imagen típica de esta condición de flujo se presenta en la Figura 5, en la que se ha demarcado una línea que aproximadamente indica las diferentes direcciones del movimiento del sedimento. La imagen no se captó perpendicular a la pared del canal, con el objeto de mostrar las partículas en la superficie libre. En la región superior del flujo hay una tendencia de las partículas a ser dominadas por colisiones. Las partículas más cercanas al fondo se mueven a gran velocidad, existiendo en esta región una transferencia vertical de granos. El número de vacíos depende de la geometría de las partículas.

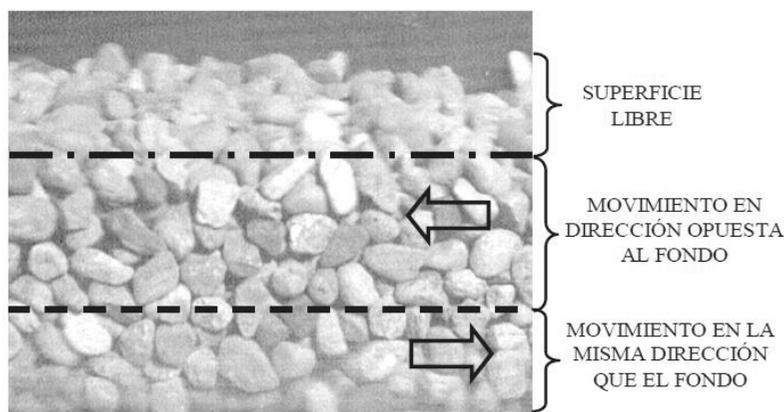


Figura 5. Imagen correspondiente a un flujo con baja velocidad de la cinta de fondo ($d_{50}=6$ mm, $U=37,5$ cm/s, $\theta=31,5^\circ$ y $h=6,7$ cm)

Para velocidades de fondo superiores a los 70 cm/s, los contactos entre partículas siguen siendo importantes, excepto en la cercanía de la superficie libre, donde las partículas tienden a separarse de ella y saltar, haciendo más difícil la definición de una altura media de flujo. La Figura 6 muestra una imagen para esta velocidad del fondo. Otra característica importante para esta condición

de flujo es el continuo intercambio desde la capa de partículas en contacto con la cinta a la superior, indicado por doble flechas verticales en la figura. Con la velocidad, también aumenta el número y tamaño de los vacíos interpartículas, facilitando el intercambio vertical en toda la región del flujo.

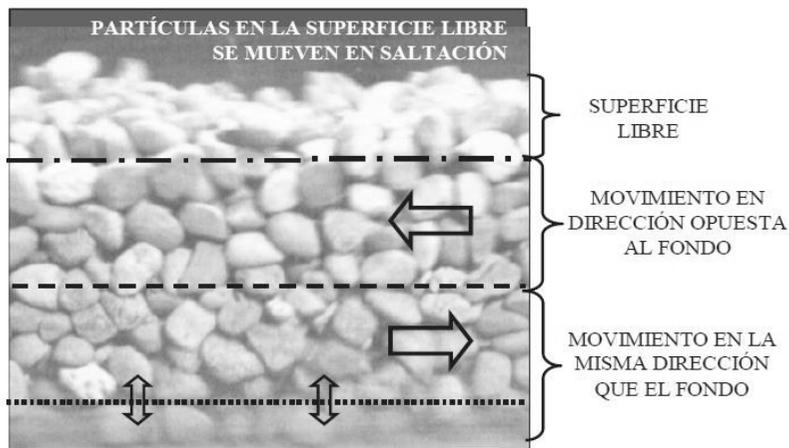


Figura 6. Imagen correspondiente a un flujo con alta velocidad de la cinta de fondo ($d_{50}=6$ mm, $U=95,0$ cm/s, $\theta=30,8^\circ$ y $h=6,3$ cm).

3.2.2 Acerca del flujo de esferas plásticas

Respecto al patrón de movimiento de las esferas plásticas, su baja densidad dio lugar a que la saltación fuera más importante que en el caso de los sedimentos naturales. La gran cantidad de choques y saltos sobre la superficie que presentan estas partículas obligó a experimentar en un rango limitado de velocidades de fondo. Para alturas del flujo mayores a siete diámetros, existe poco movimiento relativo entre los granos, constituyéndose un gran bloque

que se desplaza a una velocidad muy baja y que al parecer no percibe ni transmite los esfuerzos inducidos por los granos que se mueven en las capas cercanas al fondo, como se observa en la Figura 7, en la que se detectan grandes grupos de partículas en contacto entre sí. Este fenómeno se mantiene para un amplio rango de velocidades, observándose que sólo los granos que pertenecen a la capa inferior del flujo (de un espesor de alrededor tres diámetros) se mueven a gran velocidad, debido al momentum transferido por la cinta deslizante.

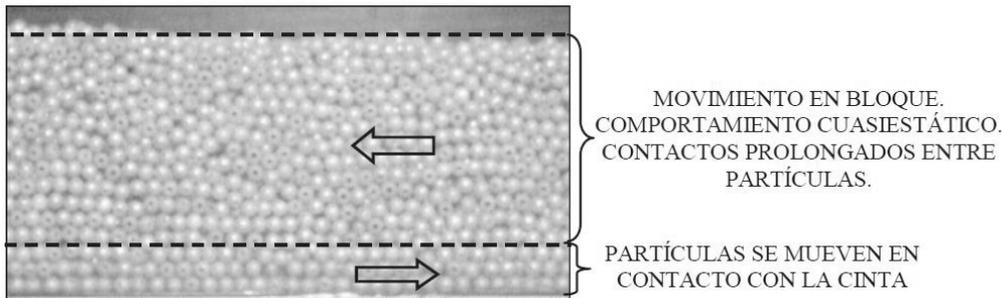


Figura 7. Patrón de movimiento de las esferas plásticas para bajas velocidades de fondo ($U = 38,22$ cm/s, $\theta=15,5^\circ$ y $h=8,5$ cm)

Al disminuir la altura del flujo o aumentar la velocidad de desplazamiento del fondo, la dinámica interna del sistema granular aumenta, dando lugar a un mayor número de colisiones y favoreciendo la existencia de vacíos y su eventual llenado como mecanismo preferente de intercambio de partículas entre capas, como se muestra en la Figura 8. Al parecer un menor número de capas favorece la transmisión de esfuerzos a través del esqueleto del medio, sin embargo, el menor roce por

textura de granos hace que la transmisión de estos esfuerzos no sea tan pronunciada, si se compara con el movimiento de granos de texturas más ásperas. Los contactos prolongados siguen siendo dominantes, lo que sugiere la existencia de un régimen friccional muy lento. Sólo a muy altas velocidades, las colisiones binarias comienzan a ser dominantes entre los granos y el fenómeno de saltación se acentúa sobre la superficie del flujo.

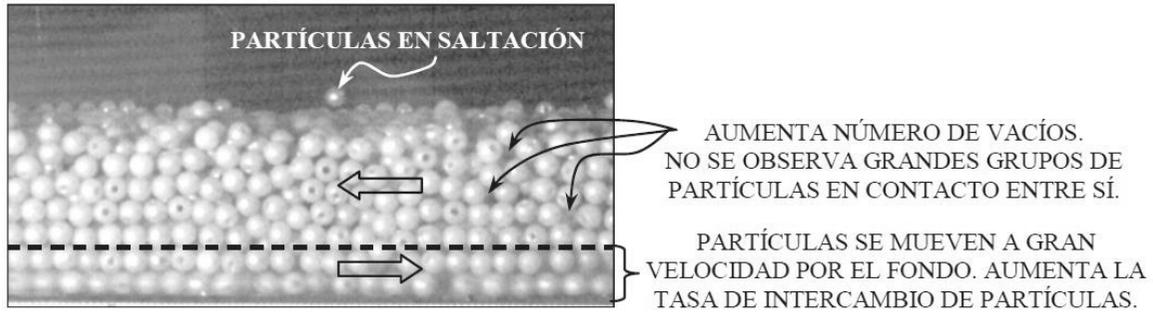


Figura 8. Patrón de movimiento de las esferas plásticas para bajas alturas de lujo y altas velocidades de fondo. La imagen fue captada de forma de mostrar la superficie del flujo ($U=83,44$ cm/s, $\theta=17,6^\circ$ y $h=4$ cm).

Se cree que el carácter liso de la textura de los granos dificulta una propagación más eficiente de los esfuerzos a través de los contactos sostenidos entre estos, lo que se traduce en las diferencias de velocidad observadas entre

la superficie y el fondo. En este sentido, parece ser la geometría de las partículas la que contribuye a la generación de vacíos y no necesariamente a la transmisión de fuerzas.

3.3 Distribuciones verticales de velocidad

Para las distintas condiciones experimentales se determinó el perfil de velocidades a lo largo de la región donde podía considerarse escurrimiento uniforme, en ambas instalaciones experimentales. A modo de ejemplo,

se presentan algunos perfiles de velocidad en las Figs. 9, 10 y 11.

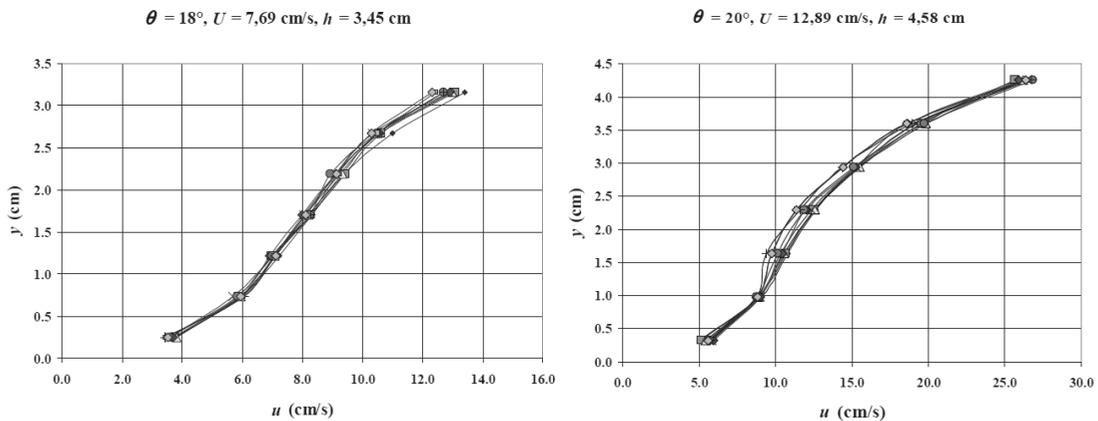


Figura 9. Perfiles de velocidad para el flujo de esferas en canal de fondo fijo.

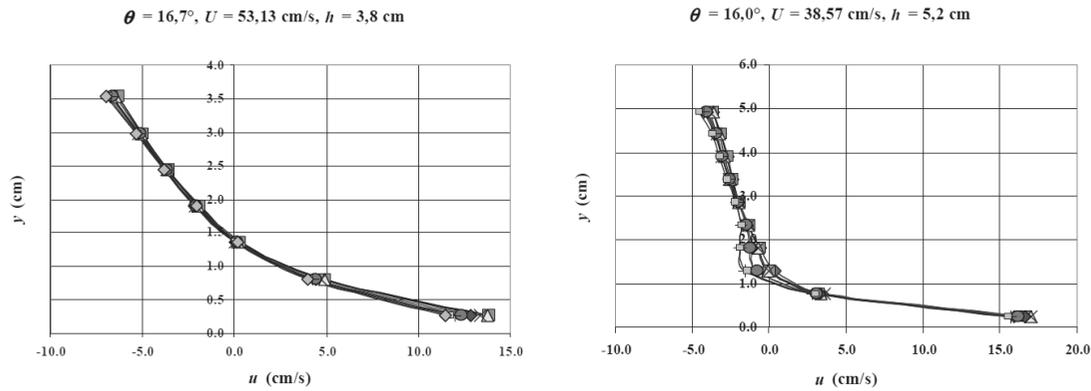


Figura 10. Perfiles de velocidad para el flujo de esferas en canal de fondo deslizante

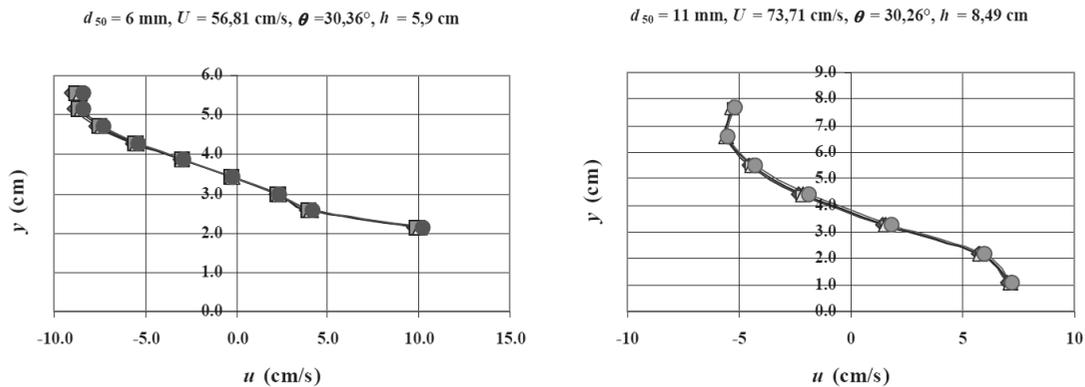


Figura 11. Perfiles de velocidad para el flujo de sedimento natural en el canal de fondo deslizante.

Como se indicó, los flujos de esferas plásticas fueron generados tanto en el canal de fondo fijo como en el de fondo deslizante, mientras que los de sedimento natural se generaron sólo en este último. Debido a que el flujo en el canal de fondo deslizante es altamente sensible frente a variaciones de pendiente, el rango de ésta varió muy poco, aun cuando la velocidad y la profundidad del flujo lo hicieron mucho más. Aquí U representa la velocidad del fondo en el canal de fondo deslizante o la velocidad media del flujo en el canal de fondo fijo.

Para condiciones relativamente similares en cuanto a pendiente del canal y altura de flujo, se observa que en las esferas plásticas un perfil de velocidad y la velocidad U diferentes en el canal de fondo deslizante, respecto al de fondo fijo. Esto estaría indicando que el canal de fondo móvil no corresponde sólo a una transformación galileana del sistema de referencia respecto al canal de fondo fijo,

sino que puede alterar la dinámica del flujo. Este resultado fue inesperado y contrario a lo que sucede para flujos de líquidos. Para flujos turbulentos, Tamburrino y Gulliver (1992) demostraron que en ambos tipos de instalaciones no sólo se tiene el mismo perfil logarítmico de velocidades, sino también las distribuciones de intensidad turbulenta y de energía cinética turbulenta. De este modo, parece ser cuestionable el uso de un canal de fondo móvil para el estudio de flujos de material granular. Una posible explicación podría ser la existencia de cadenas de contacto, capaces de transmitir esfuerzos de compresión a través de los granos en grandes distancias, fenómeno que no existe en el caso de líquidos.

Las técnicas de velocimetría empleadas funcionan bastante bien para el caso de las esferas, sin embargo, se observaron muchas dificultades de aplicación de estas técnicas para determinar adecuadamente las velocidades

de los sedimentos naturales. Esto se debe esencialmente a la irregularidad de formas de este tipo de granos, las que al desplazarse o girar, cambian las condiciones de brillo generando partículas espurias que contaminan el proceso de identificación y seguimiento. Los perfiles presentados en la Figura 11 son un ejemplo de esta situación. En las cercanías del fondo, ellos indican velocidades entre 7 y

10 cm/s, para velocidades de desplazamiento del fondo entre 56 y 74 cm/s. Para comparar estos resultados con los verdaderos valores de las partículas, se determinaron valores reales de la velocidad de granos mediante un tedioso procesamiento manual, que arrojaba velocidades similares a la de ésta para las partículas en contacto con la cinta deslizante.

4 CONCLUSIÓN

La aplicación de los principios de continuidad y cantidad de movimiento al flujo bidimensional, permanente y uniforme de material granular no cohesivo ha permitido proponer una ley de resistencia para este tipo de flujos. Como ley constitutiva se ha propuesto que el esfuerzo de corte total sobre la mezcla fluido-granular tiene dos componentes: una de tipo friccional-coulombiana y otra, de tipo fluido dilatante. Este análisis, permite concluir que la ley de resistencia debe ser tal que $Fr \simeq \frac{h}{a'}$, como ha sido propuesto por otros autores (e.g. Pouliquen, 1999). Esta ley sugiere que la velocidad media del flujo escala como $\bar{u} \simeq h^{3/2}$, distinto de la distribución de carácter parabólico encontrada para un escurrimiento laminar de agua, o el perfil logarítmico cuando el régimen es de tipo turbulento, tal como indican las leyes de Keulegan para canales lisos y rugosos. Estas diferencias dan cuenta esencialmente de la naturaleza reológica no-newtoniana de un flujo granular, frente a lo cual la literatura ya reporta bastante evidencia en esta dirección (Andreotti et al., 2011; Takahashi, 2019).

El coeficiente de proporcionalidad que caracteriza la relación (15) depende del ángulo de inclinación del canal respecto a la horizontal, del ángulo de reposo del material, la concentración y densidad de los sólidos y dos parámetros empíricos que dan cuenta de la dependencia del número de Coulomb con los dos ángulos anteriores. Estos parámetros se determinaron experimentalmente

para los flujos tanto de sedimento natural, como de esferas plásticas.

Los ensayos se realizaron en dos instalaciones experimentales: un canal de fondo móvil, en el que la velocidad media es nula y un canal tradicional. Los resultados parecen indicar que, a diferencia del flujo de líquidos, el flujo granular en el canal de fondo móvil no representa adecuadamente una transformación galileana del flujo granular equivalente en un canal de fondo fijo. Esto podría deberse a la generación de cadenas de fuerza intergranular las que pueden mantenerse a lo largo del canal de fondo móvil y que se originan por la presión ejercida por las fronteras, las que limitan el inicio y el término de la sección experimental.

La existencia y topología de estas cadenas ya se encuentra largamente reportada en la literatura, aunque sin duda un punto de interés sería tratar de observar su evolución e intensidad en alguno de estos canales. En un canal tradicional estos efectos de paredes no existen, por lo que no se inducen esfuerzos longitudinales externos al flujo. Finalmente, la visualización del patrón de movimiento de las partículas en el canal de fondo móvil ha mostrado que existen diferencias en este sentido entre las partículas esféricas y el sedimento natural, en particular respecto a la presencia de vacíos y grupos de partículas en contacto entre sí, lo que sugiere que la textura y factor de forma de los granos juega un rol preponderante en la dinámica de estos materiales.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo es el resultado de la tesis de pregrado del autor, desarrollada gracias al financiamiento parcial otorgado por el Departamento de Ingeniería Civil de la

Universidad de Chile y por el Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico de Chile a través del Proyecto Fondecyt 1070162.

REFERENCIAS

Ancey, C. (2001). Dry granular flows down an inclined channel: Experimental investigations on the frictional-collisional regime. *Physical Review E*, Vol. 65, 011304.

Andreotti B., Forterre Y. et Pouliquen O. (2011). *Les milieux granulaires : entre fluide et solide*. EDP Sciences, Collection Savoirs Actuels.

Bagnold, R. A. (1941). *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. New York: William Morrow & Co.; republished by Methuen & Co., London, 1954, 1960, 1971.

Bagnold, R. A. (1954). Experiments on a gravity-free dispersion of large solid spheres in a Newtonian fluid under shear. *Proc. R. Soc. Lond. A* 225, 49–63.

Branney M. y Kokelaar P. (2002). *Pyroclastic Density Currents and the Sedimentation of Ignimbrites*. Geological Society of London, Volume 27, ISBN 9781862394025.

Chapman, S. and Cowling, T. G. (1990). *The Mathematical Theory of Non-Uniform Gases*. Cambridge University Press, 3rd edition, 422 pp.

Duran J (1999). *Sables, poudres et grains : Introduction a la physique des milieux granulaires*. Editions Eyrolles Sciences, ISBN 2212058314.

Duran J (2003). *Sables émouvants : la physique du sable au quotidien*. Editions Belin, Bibliothèque Scientifique, ISBN 2701135265.

Fortier, A (1967). *Mécanique des Suspensions*. Editions Masson & CIE, 1967, 176 pp.

GDR MiDi (2004). On dense granular flows. *Eur. Phys. J. E.*, Vol. 14, 341-365.

Guyon E., Hulin, J.P et Petit, L (2012). *Hydrodynamique physique*. EDP Sciences, Collection Savoirs Actuels, 3e édition.

Haff, P. K. (1983). Grain flow as a fluid-mechanical phenomenon. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 134, pp. 401-430

Iverson, R. M. (1997). The physics of debris-flows. *Reviews in Geophysics* 35, 245–296.

Larcher M., Fraccarollo L., Armanini A. and H. Capart (2007). Set of measurement data from flume experiments on steady uniform debris flows. *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 45, pp. 59-71.

Lun C.K.K, Savage, S, Jeffrey D. and Chepuriniy, N. (1984). Kinetic theories for granular flow: inelastic particles in Couette flow and slightly inelastic particles in a general flowfield. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 140, pp. 223-256.

Martinez Carreaux, F., (2008). *Estudio experimental de flujos granulares densos*. Tesis del Departamento de Ingeniería Civil, U. de Chile. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103197>

Niño, Y., A. Tamburrino A., y L. Concha (1997). *Estudio experimental de flujos de barro en un canal de fondo deslizante*. XIII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica, Santiago, Chile.

Perng, A.T.H., H. Capart y H.T. Chou (2006). Granular configurations, motions, and correlations in slow uniform flows driven by an inclined conveyor belt. *Granular Matter*, Vol. 8, pp. 5-17.

- Pouliquen, O. (1999). Scaling laws in granular flows down rough inclined planes. *Physics of Fluids*, Vol.11, N° 3, pp.542-548.
- Reynolds O. (1885). On the dilatancy of media composed of rigid particles in contact. *Phil. Mag.* 20, 469–481.
- Savage, S. (1984). The Mechanics of Rapid Granular Flows. *Advances in Applied Mechanics*, Volume 24, pp: 289-366.
- Savage, S and Hutter, K (1989). The motion of a finite mass of granular material down a rough incline. *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 199, p.177-215.
- Savage, S. and Lun C. K. K. (1988). Particle size segregation in inclined chute flow of dry cohesionless granular solids. *Journal of Fluid Mechanics*, 189, 311–335.
- Takahashi, T. (2019). *Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures*. CRC Press, 2nd edition.
- Tamburrino, A., and J.S. Gulliver (1992). Comparative Flow Characteristics of a Moving-Bed Flume. *Experiments in Fluids*, Vol. 13, No. 5, pp. 289-298.
- Terzaghi K (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. Wiley Editors, 510 pages.
- Tropea, C. and Yarin, A (2007). *Springer Handbook of Experimental Fluid Mechanics*. Springer Science & Business Media, M10 9, 1557 pages.
- Wang, Y. and Hutter K. (2001). Granular material theories revisited. *Geomorphological Fluid Mechanics*, Chapter 04, Springer, pp: 79-107.
-

DISEÑO DE CONEXIÓN SISMORRESISTENTE BOLTED FLANGE PLATE (BFP); EN PORTICOS ESPECIALES A MOMENTO (SMF)

Roberto Aguiar ^(1,2), Juan Carlos Vielma ⁽³⁾, Carlos Abella ⁽⁴⁾, Gino Pannillo ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Dr., Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador

⁽²⁾ Dr., Facultad de Ingeniería. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta Ecuador.

⁽³⁾ Dr., Escuela de Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Chile.

⁽⁴⁾ MSc., Ingeniería Civil en Obras Civiles, Universidad Católica de Temuco. Temuco, Chile.

⁽⁵⁾ MSc., Departamento de Ingeniería Estructural, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto, Venezuela.

1. INTRODUCCION

La conexión de placas apernadas al ala y alma (Bolted Flange Plate), incluida dentro del documento ANSI/AISC 358 (1), es una conexión que ha sido utilizada en pórticos especiales resistentes a momentos, cuyos requerimientos apuntan a una adecuada capacidad de disipación de

energía. En la medida que se conozca el marco teórico de la conexión precalificada se diseñará de forma adecuada, motivo por el cual se presenta este artículo, detallado en 17 pasos, para el diseño de esta conexión; la cual es muy adecuada en zonas de alta peligrosidad sísmica, Figura 1.

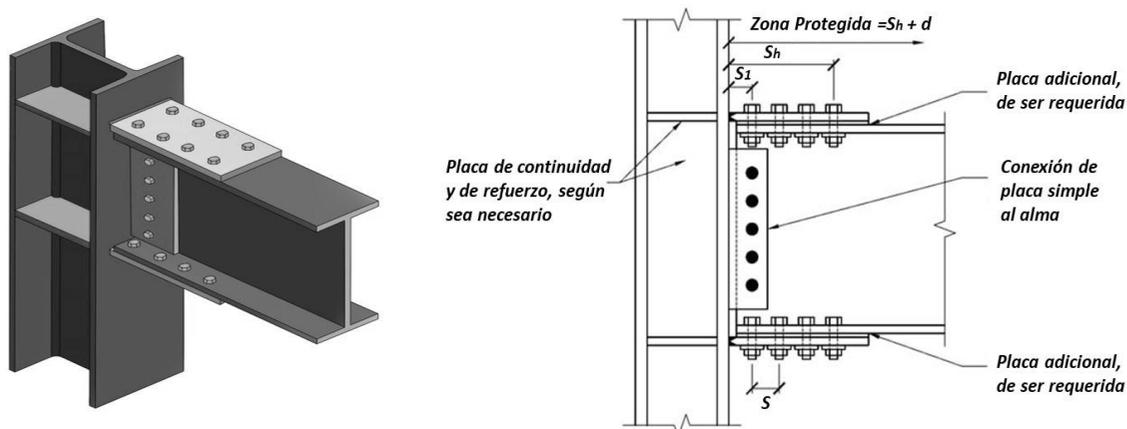


Figura 1. Esquema de conexión tipo BFP adaptado de la normativa ANSI/AISC 358 (1).

Para la conexión de placas apernadas a las alas (BFP), básicamente se utilizan placas soldadas al ala de la columna y apernadas al ala de la viga; donde la placa superior e inferior son idénticas, el tipo de soldadura (CJP) y los pernos de alta resistencia. El alma de la viga está conectada al ala de la columna mediante una placa de corte, con pernos tal como se observa en la Figura 1; con esta conexión se busca que la rótula plástica se forme en la viga en la región próxima al extremo de las placas del ala. La precalificación de la conexión BFP se basa en pruebas de conexión de momento bajo deformación inelástica cíclica.

El diseño de una conexión se realiza a partir del cálculo de la resistencia que tiene cada uno de los elementos que la forman, considerando las características de falla que pueda presentar. Dicha falla en una conexión puede manifestarse en los elementos conectados, en los de conexión, o en los conectores; por esta razón se debe evaluar la resistencia de cada una de las partes de la unión y determinar la menor de todas las resistencias que ellas aportan, siendo ésta la que guía el diseño, Figura 2.

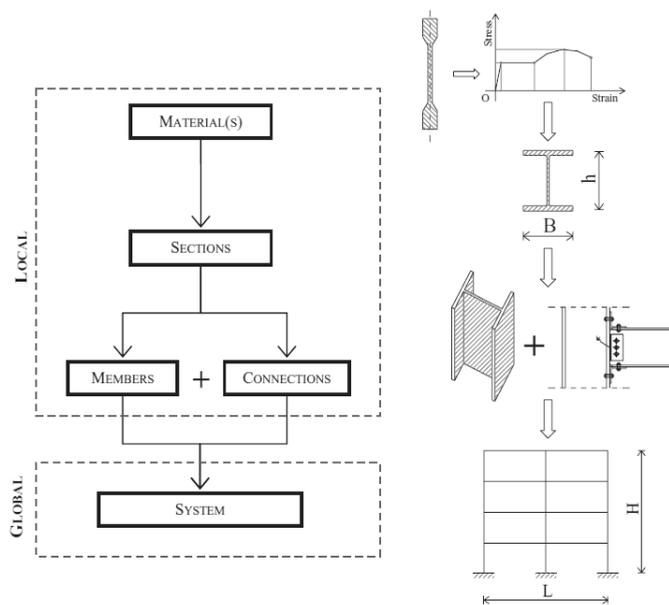


Figura 2. Relación jerárquica entre respuesta estructura local y global; Elnashai y Di sarno (2).

Las conexiones de acero son piezas fundamentales en el proceso de diseño y construcción de estructuras metálicas; en el evento sísmico ocurrido en Pedernales (M=7,8), durante el 2016 quedó de manifiesto la bondad de la conexión BFP (por sus siglas en inglés Bolted Flange Plate), la que presentó un adecuado

comportamiento en el edificio de la Unidad de Vigilancia Comunitaria UVC, ubicado en la ciudad de Manta, a pesar de que, estrictamente, no fue diseñada siguiendo todo lo estipulado por el ANSI/AISC 358 (1); Figura 3.

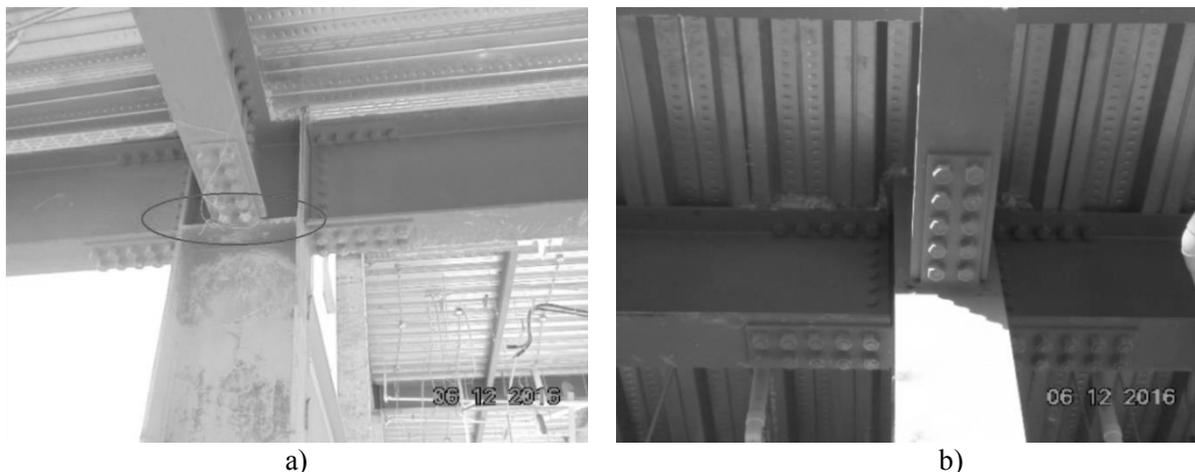


Figura 3. Conexión BFP en la Unidad de Vigilancia Comunitaria de Manta; a) Detalle en que se observa que la viga no llega al nudo, hay una separación de 2 mm; b) vista de la placa horizontal que tiene menos ancho que la viga, también se observa la placa colaborante Deck; Aguiar *et al* (3).

La estructura Unidad de Vigilancia Comunitaria UVC, presenta la siguiente característica: En sentido transversal la luz es de 9m, y en sentido longitudinal las luces son de 5m. En la Figura 4, se observa que en planta baja se tienen vigas en voladizo en los dos sentidos. En la parte inferior de estas vigas se construyeron paredes de bloque sin elementos confinantes, y como era de esperarse, presentaron daño. Las columnas son de acero HEA

recubiertas con hormigón, para dar apariencia de que la estructura es de hormigón armado y las vigas son perfiles tipo "I". La sección transversal en el caso de las columnas de 466/280/18/10 mm y para las vigas de 530/200/15/10 mm; en la Figura 4(b), se indican las secciones transversales, que se han identificado como TP-07 para la viga y C-02 para la columna. Aguiar *et al.* (3).

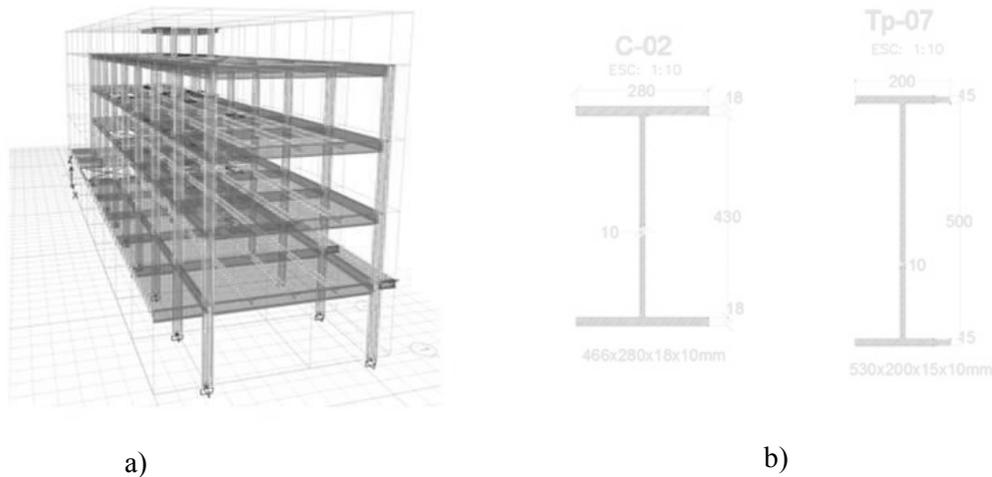


Figura 4. a) Estructura de acero de UVC de Manta; b) Sección tipo de columna y viga de acero A57; Aguiar *et al* (3).

El objetivo de este artículo no es analizar el daño de la estructura de la UVC durante el terremoto de 2016, sino hacer comentarios a los elementos utilizados en la conexión BFP. Para esto se debe indicar que la placa horizontal de la conexión es de 16 mm, de espesor y se emplearon pernos A 490 de 25 mm, de diámetro y 75 mm, de longitud; en cambio en la placa vertical el espesor de la placa es de 10 mm, con pernos A325 de 19 mm, de diámetro y 50 mm, de longitud, el ancho de la placa vertical es de 13 cm. En la Figura 1, se observa el número de pernos utilizados. A continuación, se indican algunos comentarios a la conexión BFP de la UVC de Manta.

- El ancho de la placa horizontal es menor que el ancho del perfil de la viga; esto está correcto; se puede permitir que sean de igual tamaño. Lo que es insuficiente es el espesor de la placa horizontal de 16 mm, para una viga con dimensiones similares a una IPE 500. El espesor depende de la geometría del perfil de la viga y de la luz, básicamente; en el ejemplo numérico que se realiza posteriormente con una viga IPE 400 con una luz menor se ve que el espesor de la placa horizontal es 30 mm.

- El número de pernos empleados para la conexión parece ser el adecuado.
- Tienen placa de continuidad del mismo espesor que el de la placa horizontal, esto está correcto considerando el comentario del espesor de la placa horizontal ya realizado.

Para terminar con el análisis de las conexiones BFP de la UVC se indica que, a pesar de que no cumple con todo lo indicado por el AISC 358 (1) (espesor de placa horizontal), la conexión presentó un comportamiento aceptable durante el terremoto de 2016. Para el presente trabajo se hizo énfasis en la conexión de planchas apernadas a las alas, para pórticos resistentes a momentos. Para ello, se tomaron como base fundamental los aspectos expuestos en la Norma ANSI/AISC 358 (1) en el capítulo 7 titulado BOLTED FLANGE PLATE (BFP). El marco teórico se complementa con el desarrollo de un ejemplo numérico y finalmente se realizan varias recomendaciones prácticas sobre la conexión BFP.

2. PROCEDIMIENTO

La conexión BFP es una conexión precalificada del ANSI/AISC 358 (1), seguidamente se indica en forma resumida el procedimiento de cálculo de esta conexión. Vielma (4), Abella y Pannillo (5), Briceño (6).

1) Se determina el Momento Máximo de la rótula plástica M_{pr} en la viga

$$C_{pr} = \frac{F_{yb} + F_{ub}}{2 F_{yb}} \leq 1.2 \quad (1)$$

$$M_{pr} = C_{pr} R_{yb} Z_x F_{yb} \quad (2)$$

Donde: F_{yb} ; F_{ub} son el esfuerzo de fluencia del acero de la viga y el esfuerzo último del acero de la viga; R_{yb} es la relación de esfuerzos cedentes de la viga ($R_{yb} = 1.5$) de acuerdo a ANSI/AISC 341 (7) Tabla A3.1; Z_x es el módulo plástico de la sección. En definitiva M_{pr} es la capacidad a flexión que tiene la viga, en base a esta capacidad se determina posteriormente el cortante, de tal manera que se desea que la falla sea por flexión en lugar de corte.

2) Calcular el máximo diámetro del perno, d_b para prevenir la ruptura por tensión del ala de la viga. Para agujeros estándar con dos filas se tiene:

$$d_b \leq 0,19 b_{bf} - 3 \text{ mm} \quad (3)$$

En forma aproximada y para tenerlo presente se puede decir que para acero A36, el diámetro máximo de los pernos es $d_b \leq 0,2 b_{bf}$

3) Determinación de las dimensiones de las placas horizontales (Tentativo). Por lo tanto, se debe asumir un grosor de la placa t_p , estimar el ancho b_{fp} teniendo en cuenta el ancho del ala, el diámetro de

los pernos y la distancia a los bordes L_c . El largo de la placa se encuentra en función del número de pernos que se necesita. En este punto también se determina el cortante nominal por perno r_n considerando la falla por cortante y aplastamiento.

4) Determinación del número de pernos en las placas horizontales (Tentativo)

$$n \geq \frac{1.25 M_{pr}}{\phi_n r_n (d + t_p)}; \quad \phi_n = 0,9 \quad (4)$$

Se recuerda que M_{pr} se determinó en el paso 1, r_n en el paso 3, d es la altura de la viga; t_p es el espesor de la placa horizontal.

5) Se determina la localización de la rótula plástica S_h

$$S_h = S_1 + s \left(\frac{n}{2} - 1 \right) \quad (5)$$

Siendo S el espaciamiento entre pernos; S_1 es la distancia del primer perno al borde del ala de la columna; n es el número de pernos en la placa horizontal. La Figura 5, ayuda a entender la ecuación; en esta gráfica S_0 es la distancia libre entre la columna y la viga; S_2 es la distancia al borde del ala de viga y la plancha (placa) del ala. La longitud de la placa horizontal L_p se puede estimar en función de S_h más la distancia al borde y una cierta holgura.

El análisis se realiza considerando dos filas de pernos en la placa horizontal identificada en la Figura 5, como plancha del ala.

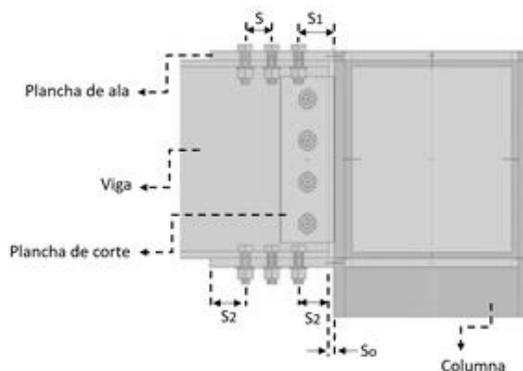


Figura 5. Nomenclatura utilizada para la separación de pernos.

6) Se encuentra el cortante último V_h en la rótula plástica, en cada extremo

$$V_h = \frac{W_u * L_h}{2} + \frac{2 * M_{pr}}{L_h} \quad (6)$$

$$L_h = L - 2 * S_h \quad (7)$$

Donde W_u es la carga uniforme por unidad de longitud, que gravita sobre la viga debido a los estados de carga que se consideran. L es la luz libre; L_h es la distancia entre rotulas plásticas; M_{pr} fue determinado en el paso 1.

7) Se obtiene el momento esperado en la cara de la columna M_f

$$M_f = M_{pr} + V_h S_h \quad (8)$$

8) Fuerzas en el ala F_{pr} bajo la acción del momento M_f

$$F_{pr} = \frac{M_f}{(d + t_p)} \quad (9)$$

Se recuerda que d es la altura del perfil IPE y t_p es el ancho de la placa horizontal.

9) Confirmación que el número de pernos del Paso 4, es el adecuado.

$$n = \frac{F_{pr}}{\phi_n r_n}; \quad \phi_n = 0,9 \quad (10)$$

10) Verificación que el espesor de la placa que en el Paso 3, era tentativo sea el adecuado.

$$t_p = \frac{F_{pr}}{\phi_d F_y b_{fp}}; \quad \phi_d = 1,0 \quad (11)$$

Recordando b_{fp} es el ancho de la placa horizontal de acero.

11) Verificación de que la placa horizontal no falle por ruptura por tensión.

$$A_e = [b_{fp} - 2 * (d_b + 1)] * t_p \leq 0,85 * b_{fp} * t_p \quad (12)$$

$$R_n = F_{up} * A_e \quad (13)$$

$$F_{pr} \leq \phi_n R_n; \quad \phi_n = 0,75 \quad (14)$$

Donde: d_b es el diámetro de perno; F_{up} esfuerzo último de acero de placa

12) Verificación por bloque de cortante

- Fluencia a cortante y fractura a tensión

$$R_n = 0,6 F_y A_{gv} + F_u A_{nt} \quad (15)$$

- Fluencia a tensión y fractura a cortante

$$R_n = 0,6 F_u A_{nv} + F_y A_{gt} \quad (16)$$

El valor de R_n es el menor valor que se halla con las dos ecuaciones. Por lo que también se expresa de la siguiente manera.

$$R_n = 0,6 F_u A_{nv} + F_y A_{gt} \leq 0,6 F_y A_{gv} + F_u A_{nt} \quad (17)$$

Donde: A_{nv} es el área neta de cortante, que depende del plano de falla; A_{gv} es el área gruesa de corte; A_{nt} es el área neta a tracción.

$$A_{nt} = b_{fp} * t_p \quad (18)$$

$$A_{gv} = L_p * t_p \quad (19)$$

El valor de A_{nv} depende de la longitud de la placa L_p ; de la distancia S_1 ; de la distancia L_c (que son función de los tres planos de falla) y depende de la altura de la placa t_p . Finalmente se debe verificar:

$$F_{pr} \leq \phi_n R_n; \quad \phi_n = 0.75 \quad (20)$$

13) Verificación de la Placa bajo estado límite de pandeo a compresión.

Se debe verificar que $\frac{KL}{r} \leq 25$. Si no lo es, se deba incrementar las dimensiones de la placa.

$$KL = 0.65 S_1 \quad (21)$$

$$r = \frac{t_p}{\sqrt{12}} \quad (22)$$

$$R_n = F_{yp} A_g = F_{yp} b_{fp} t_p \quad (23)$$

$$F_{pr} \leq \phi_n R_n \quad (24)$$

Se recuerda que S_1 es la distancia al primer perno; F_{yp} es el límite de fluencia del acero de la placa horizontal; b_{fp} es el ancho de la placa; t_p es el espesor de la placa; F_{pr} es la fuerza lateral que actúa en la placa.

14) Se determina el V_u requerido para la viga y el de la conexión entre el alma de la viga y la columna. Este cortante deberá ser menor que la capacidad $\phi_v V_n$

$$V_u = \frac{2 M_{pr}}{L_h} + \frac{W_u L_h}{2} \quad (25)$$

$$V_u \leq \phi_v V_n \quad (26)$$

15) Diseño de la conexión simple a corte; con respecto a la fuerza obtenida en el paso 14, cumpliendo con los requisitos de las especificaciones.

16) Diseño de placas de continuidad. - Se deben realizar dos controles, uno en la zona a compresión y otro en la zona a tracción.

17) Verificación de la zona de panel.- Normalmente a una columna llegan dos vigas, las mismas que transmiten momentos a la conexión que a su vez se convierten en fuerzas horizontales como las indicadas en la Figura 6.

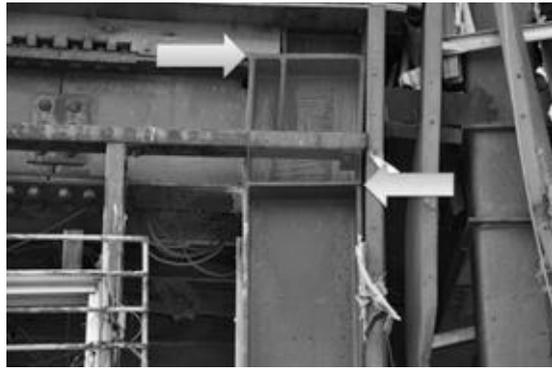


Figura 6. Fuerzas horizontales que se transmiten

Finalmente se debe verificar el criterio Columna fuerte- Viga débil; como se podrá apreciar no es nada fácil diseñar una conexión BFP, ver Figura 7, por lo que se requiere un Programa de Ordenador, para su

diseño. En el presente estudio se utilizó el desarrollado por Vielma (4), Abella y Pannillo (5).

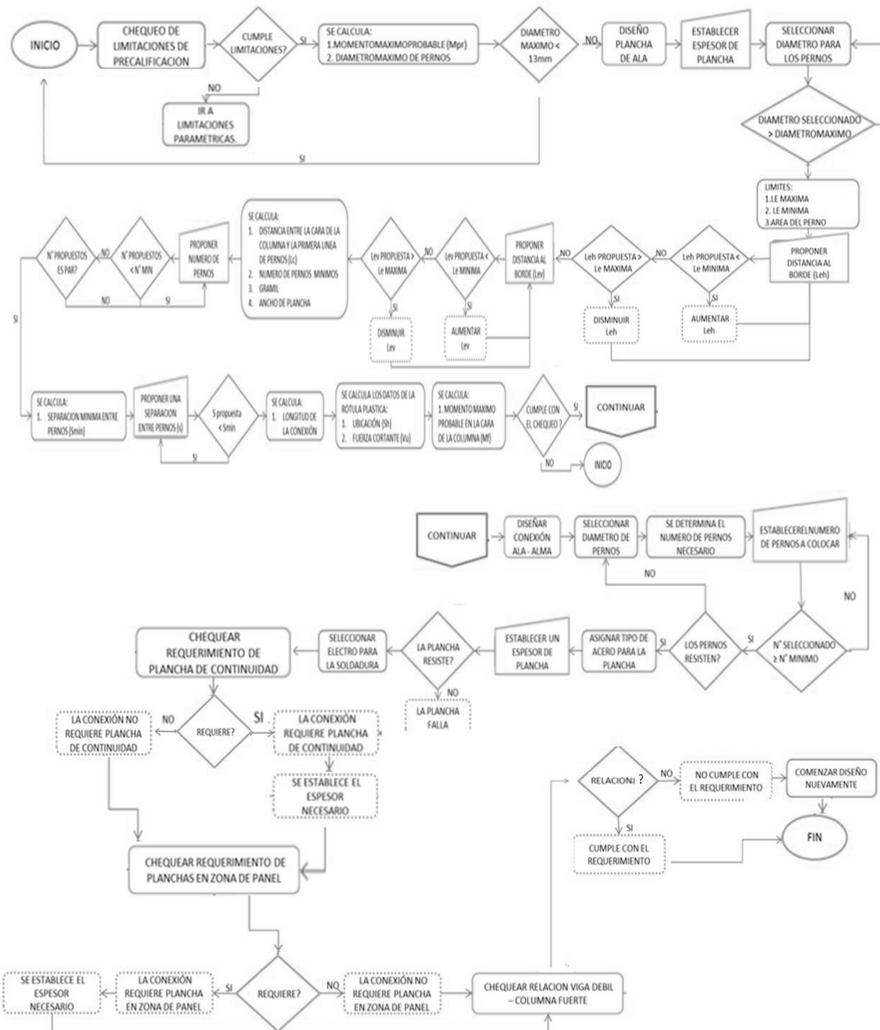


Figura 7. Flujograma diseño de conexión BFP.

3. CASO DE APLICACIÓN.

En una estructura, se tiene una columna esquinera HEA-400, a la que llega una viga IPE-400. Se desea diseñar la conexión BFP que se indica en la Figura 8. Las placas horizontales que vienen soldadas a la columna son de 360/180/30 mm, el ancho de la placa se ha considerado igual al ancho del perfil IPE-400, el largo de 360 mm, tiene que ver con la cantidad de pernos A490 de 7/8" por 3 1/2" que se utilizan en cada placa; se tienen 2 filas, con 5 pernos cada una, dando un total de 10 pernos en cada

placa. La placa vertical es de 300/130/15 mm y va con 5 pernos A490 de 7/8" por 2 1/4".

Por otra parte, las placas de continuidad, al igual que la viga IPE-400 y la columna HEA-400 son de acero A36. El ancho de la placa de continuidad es de 90 mm, la mitad del ancho del perfil IPE-400 y menor a la mitad del ancho del perfil HEA, la longitud es de 352 mm (dimensión de la columna menos dos veces el espesor del ala) y 30 mm de espesor que es el mismo que el de la placa horizontal.

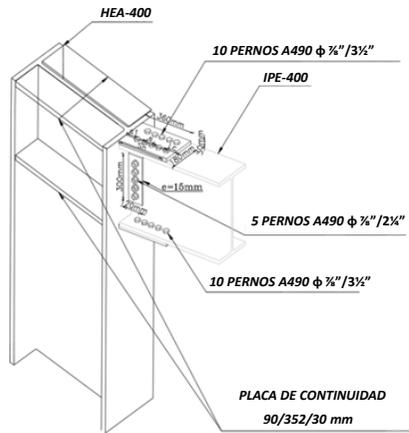


Figura 8. Conexión BFP entre una columna HEA-400 y una viga IPE-400

- **Propiedades de viga IPE-400**

Perfil utilizado:		IPE-400
Altura de la viga:	d=	400 mm
Ancho de la viga:	b _{bf} =	180 mm
Espesor del alma:	t _{bw} =	8,6 mm
Espesor del ala:	t _{bf} =	13,5 mm
Peso de la viga:	w _b =	66,3 kgf/m
Modulo de seccion:	Z _x =	1310,00 cm ³
Radio de esquina:	r _b =	21,0 mm

- **Perfil de columna HEA-400**

Perfil utilizado:		HEB-400
Altura de la columna:	d _c =	400 mm
Ancho de la columna:	b _{cf} =	300 mm
Espesor del alma:	t _{cw} =	13,5 mm
Espesor del ala:	t _{cf} =	24 mm
Modulo de seccion:	Z _{xc} =	3125,38 cm ³
Radio de esquina:	r _c =	27,0 mm
Tope ala de viga-Tope de columna	S _o =	0,00 mm

- **Propiedades de Placa Horizontal**

Espesor de la Placa:	$t_p =$	30 mm
Ancho de la Placa:	$b_p =$	180 mm
Gramil:	$g =$	80 mm
Distancia entre pernos internos al ala:	$P_{fi} =$	50 mm
Distancia Pernos-Ala de viga:	$P_{fo} =$	50 mm
Distancia Perno-Borde Placa:	$d_e =$	50 mm
Diámetro de Perno	$d_b =$	24 mm
Número de Pernos en dos filas	$n =$	10

- **Propiedades de Placa Vertical**

Número de pernos en placa vertical	$n =$	5
Diámetro de cada perno	$d_b =$	24 mm
Espesor de placa	$t_p =$	15 mm
Distancia desde al borde de un perno	$L_{eh} =$	40 mm

- **Acero utilizado en Viga, Columna, Placa Horizontal y Vertical**

Tipo de acero:		ASTM A36
Esfuerzo de fluencia del acero:	$F_{yb} =$	2530 kgf/cm ²
Esfuerzo ultimo del acero:	$F_{ub} =$	4080 kgf/cm ²
Relacion de esfuerzos cedentes:	$R_y =$	1,20
Relacion de esfuerzos tracción:	$R_t =$	1,20 AISC 341-10

- **Propiedades de los Pernos utilizados**

Tipo de perno:		ASTM A490 (CR)
Capacidad nominal a tracción:	$F_{nt} =$	7940 kgf/cm ²
Capacidad nominal a corte:	$F_{nv} =$	4220 kgf/cm ²

Los pernos son de alta resistencia A490, cuyas propiedades han sido indicadas, si se usa pernos A325 la capacidad nominal a tracción y corte son menores y se debe incrementar el número de pernos.

- **Propiedades de la Placa de continuidad**

Considerar Placa de continuidad en el diseño:		SI
Espesor del rigidizador:	$t_{cp} =$	30 mm
Tipo de acero:		ASTM A36
Esfuerzo de fluencia del acero:	$F_{ycp} =$	2530 kgf/cm ²
Esfuerzo ultimo del acero:	$F_{ucp} =$	4080 kgf/cm ²

• **Propiedades de la soldadura**

Tipo de electrodo:		E70XX
Capacidad nominal a traccion:	$F_{EXX} =$	4920 kgf/cm²
Tipo de soldadura:		
Ala de la viga a la Placa (CJP):		13,5 mm
Ala de la viga a la Placa (Filete):		8 mm
Alma de la viga a la Placa (Filete):		8 mm

A continuación, se presentan en forma resumida los resultados de acuerdo al procedimiento de cálculo indicado, razón por la cual se utilizan los mismos numerales.

1. Momento máximo M_{pr} , trabajando con $R_{yb} = 1.2$ El ANSI/AISC 341 (7) recomienda que se trabaje con $R_{yb} = 1,5$, que se considera muy alto para los aceros que se comercializan en Ecuador.

$$M_{pr} = C_{pr} R_{yb} Z_x F_{yb} = 47726 \text{ kgf} * m \quad (27)$$

2. Máximo diámetro del perno es $d_b = 31 \text{ mm}$ Se decide trabajar con pernos de 7/8 " (24 mm) para que tengan una mayor capacidad al corte.

$$d_b \leq \frac{b_{bf}}{2} \left(1 - \frac{R_{yb} F_{yb}}{R_{tb} F_{ub}} \right) - 3 \text{ mm} \quad (28)$$

3. Dimensiones de la placa horizontal.- Con la dimensión del perno, se obtuvo que $L_c = 30 \text{ mm}$ que es la distancia mínima al borde; se decide trabajar con 50 mm. Por otro lado, como criterio se considera que el ancho de la placa b_{fp} sea igual al ancho del ala del IPE (puede ser menor). Ahora habrá que ver para las dos filas de pernos si se cumple con la distancia mínima al borde. Por otra parte, para el espesor de la placa t_p se hicieron varios intentos para que cumplan con todos los requerimientos de: tensión, corte, desgarramiento y pandeo; luego de varios intentos se llegó a:

$$t_p = 30 \text{ mm} \quad b_{fp} = 180 \text{ mm} \quad (29)$$

De acuerdo al procedimiento indicado, en este apartado solo se deben colocar las dimensiones tentativas, las mismas que deben ser verificadas con los cálculos posteriores.

4. Determinación del número de pernos.

• Cortante Nominal por perno

$$r_n = \text{menor} \left\{ \begin{array}{l} 1.0 F_{nv} A_b \\ 2.4 F_{ub} d_b t_{bf} \\ 2.4 F_{up} d_b t_p \end{array} \right\} = \text{menor} \left\{ \begin{array}{l} 19090.83 \text{ Kg} \\ 31726.08 \text{ Kg} \\ 70502.4 \text{ Kg} \end{array} \right\} \quad (30)$$

$$\rightarrow r_n = 19090.83 \text{ Kg}$$

• Cálculo del número de pernos

$$n \geq \frac{1.25 M_{pr}}{\phi_n r_n (d + t_p)}; \quad \phi_n = 0.9 \quad n = 9 \quad (31)$$

Se decide colocar 10 pernos; 2 filas de 5 pernos cada una.

5. Localización de rótula plástica y longitud de placa horizontal

$$S_h = S_1 + s \left(\frac{n}{2} - 1 \right) \quad L_p = S_h + S_1 \quad (32)$$

Distancia hacia la primera fila de per	$S_1 =$	50,00	mm
Número estimado de pernos	$n =$	9,00	pernos
Paso o separación de los pernos	$s =$	50,00	mm
Localización de la rótula plástica	$S_h =$	250,00	mm
Longitud de las placas	$L_p =$	300,00	mm

La longitud calculada de la placa es 300 mm, sin embargo, se permite que esta placa sea de 360 mm, de esa manera se tendrá un mayor espaciamiento entre pernos lo que repercute en un mejor desempeño al desgarre de la placa.

6. Determinación del cortante último.- Se tiene una luz libre entre columnas de $L = 5,80$ m.

$$V_h = \frac{W_u * L_h}{2} + \frac{2 * M_{pr}}{L_h} \quad (33)$$

$$L_h = L - 2 * S_h \quad (34)$$

Distancia entre rótulas plásticas (Lh) $L_h = 5,30$ m
 Corte por gravedad $V_{gravedad} = 878,48$
 Corte último $V_h = 18888,26$ kgf

7. Momento esperado en la cara de la columna M_f

$$M_f = M_{pr} + V_h S_h = 52447.98 \text{ Kg} * \text{m} \quad (35)$$

8. Fuerzas en el ala F_{pr} bajo la acción del momento M_f

$$(36)$$

$$F_{pr} = \frac{M_f}{(d + t_p)} = 121972.06 \text{ Kg}f$$

9. Confirmación del número de pernos.- Se obtienen 9 pernos pero se colocarán 10 pernos.

$$n = \frac{F_{pr}}{\phi_n r_n}; \quad \phi_n = 0.9 \quad (37)$$

10. Cálculo del espesor de la placa

$$t_p = \frac{F_{pr}}{\phi_d F_y b_{fp}} = 2.68 \text{ mm}; \quad \phi_d = 1.0 \quad (38)$$

El espesor de la placa que se determina es muy bajo, 2.68 mm. Pero se lleva a 30 mm, por el control de tensión que se ve a continuación y otros controles que se hacen posteriormente.

11. Verificación de que la placa no falle por tensión

$$A_n = [b_{fp} - 2 * (d_b + 1)] * t_p \leq 0.85 * b_{fp} * t_p \quad (39)$$

$$R_n = F_{up} * A_e \quad (40)$$

$$F_{pr} \leq \phi_n R_n; \quad \phi_n = 0.75 \quad (41)$$

Área neta de las placas	$A_n = 3900,00$	mm ²
Área neta de las placas	$A_n = 0$	$\leq 3900,00 \leq 4590$
Área neta de las placas verificada	$A_n = 3900,00$	mm ²
Tensión de ruptura a tracción:	$R_n = 159120,00$	kgf
Verificación del esfuerzo en la placa:	$\phi_n = 0,75$	
Fuerza actuante en la placa del ala:	$F_{pr} = 0$	$\leq 121972,06 \leq 119340$

La fuerza en el ala $F_{pr} = 121972,06$ kg, es mayor que la capacidad $\phi_n R_n$ de 119340 kg. Por lo tanto, no verifica. Estrictamente se debe incrementar el ancho de la placa b_{fp} o el espesor de la placa t_p . Con $b_{fp} = 180$ mm y con $t_p = 30$ mm, no cumple. Sin embargo, se deja, ya que si se calcula $A_n = 0,85 * b_{fp} * t_p$ el valor sería 4590

mm² y con esta cantidad la capacidad a tensión sería ligeramente superior a la demanda.

Lo importante de este numeral es que el usuario observe que $b_{fp} = 180$ mm y $t_p = 30$ mm; son valores mínimos.

12. Verificación de que la placa bajo estado límite de ruptura al corte.

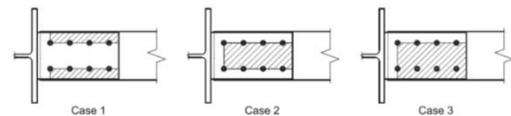
$$R_n = 0,6 F_u A_{nv} + F_y A_{gt} \leq 0,6 F_y A_{gv} + F_u A_{nt} \quad (42)$$

Esta tensión es definida en el Capítulo J, de la especificación ANSI/AISC 360 (8).

$$R_n = 631584,0 \text{ kg}f \quad (43)$$

El área neta de corte es la definida para el Caso 1, de la siguiente figura.

$$A_{nv} = 16800,00 \text{ mm}^2 \quad (44)$$



El área neta a tracción

$$A_{nt} = 5400,00 \text{ mm}^2$$

El área gruesa a corte

$$A_{gv} = 9000,00 \text{ mm}^2$$

$$U_{bs} = 1,00$$

Fuerza actuante en la placa del ala:

$$F_{pr} = 0 \leq 121972,06 \leq 410530$$

Se recuerda que la fuerza actuante en el ala, $F_{pr} = 121972,06$ kg (demanda) para este caso es menor que la capacidad $0,6 * 631584 = 410530$ kg. De tal manera que no se presenta la ruptura por corte.

13. Verificación de la placa bajo estado límite de pandeo a compresión

Esta tensión se encuentra definida en la sección J4.4 del Capítulo J, de las especificaciones ANSI/AISC 360 (8)

Esbeltez de las placas

$$3,75 \leq 25 \text{ [VERIFICA]} \quad KL/r$$

Si se cumple, se puede usar la ecuación

$$R_n = 136620,00 \text{ kgf} \quad P_n = F_y A_g$$

$$\phi_n = 0,90$$

Fuerza actuante en la placa del ala:

$$F_{pr} = 0 \leq 121972,06 \leq 122958 \text{ [VERIFICA]}$$

Nótese que la capacidad a pandeo a compresión es ligeramente superior a la demanda, es decir se tiene un diseño en el límite. No se puede pensar en que está sobredimensionada la conexión.

14. Verificación de la capacidad al corte

$$\frac{h}{t_w} = \frac{400 - 2 * 13,5}{8,6} = 43,37 \quad (45)$$

La relación $\frac{h}{t_w}$ es menor a $\frac{418}{\sqrt{F_{yb}}}$. La última relación en

kg/cm², es la siguiente. $2,24 \sqrt{\frac{2100000}{2530}} = 64,54$. Luego:

$V_n = 0,6 F_{yb} A_w = 0,6 * 2530 * (40 - 2 * 1,35) * 0,86 = 48694 \text{ kgf}$. El cortante actuante, considerando que se va a plastificar la sección por flexión más el cortante debido a carga vertical.

$$V_u = \frac{2 M_{pr}}{L_h} + \frac{W_u L_h}{2} = 18888,26 \text{ kgf} \quad (46)$$

Que es menor a la capacidad. Por lo tanto, cumple.

15. Diseño de la placa vertical a corte

• Corte en los pernos

Número de pernos en placa vertical	n=	5	pernos
Área en cada perno	A _b =	452,39	mm ²
Capacidad a corte de perno	F _{nv} =	4220	kgf/cm ²
Fi	Ø=	1,00	
Capacidad del perno	V _{nv} =	95454,15	kgf

El cortante actuante $V_u = 18888,26 \text{ kgf}$ es menor que el resistente $V_{nv} = 95454,15 \text{ kgf}$. Por lo tanto, verifica.

• Aplastamiento en los pernos

Serparación mínima entre los pernos	sp=	50,00	mm	
Distancia mínima hacia el borde	de=	50,00	mm	
Separación de pernos	sp=	57,75	mm	50 [VERIFICA]
Diámetro de los pernos del alma	d _{bw} =	22,00	mm	
Diámetro de los orificios	d _{hw} =	23,81	mm	
Distancia del orificio al borde	L _c =	38,09	mm	
Distancia entre orificios	L _c =	33,94	mm	
Espesor de placa	t _p =	15,00	mm	
Esfuerzo de fluencia del acero placa	F _{yp} =	2530	kgf/cm ²	
Esfuerzo ultimo del acero placa:	F _{up} =	4080	kgf/cm ²	
Resistencia por perno al final	R _n =	27976,05	kgf	
Resistencia por otros pernos	R _n =	24923,70	kgf	
Fi	Ø=	0,75		
Capacidad total por aplastamiento	ØR _n =	98042,40	kgf	> 18888 [VERIFICA]

• Plastificación por corte

Longitud de la placa	L _p =	373,00	mm	
Área de corte de la placa	A _y =	5595,00	mm ²	
Fi	Ø=	1,00		
Capacidad de la placa	ØR _n =	84932,10	kgf	48 18888 [VERIFICA]
Área de corte del alma de la viga	A _y =	3207,80	mm ²	
Fi	Ø=	1,00		
Capacidad del alma de la viga	ØR _n =	48694,40	kgf	> 18888 [VERIFICA]

La longitud de la placa vertical, es de $L_p = 300 \text{ mm}$, con esta dimensión también se cumple la plastificación por corte.

El Programa lo determina con $L_p = 373 \text{ mm}$ que es igual al alto del perfil IPE-400 menos 2 veces la altura del ala.

• Ruptura por corte

Área neta de corte de la placa	A _{nv} =	3809,06	mm ²
Fi	Ø=	0,75	
Capacidad de la placa	ØV _n =	69934,39	kgf > 18888 [VERIFICA]

• Bloque de Corte

Verificación en la placa			
Longitud horizontal al borde	L _{eh} =	50,00	mm
Ancho neto a tracción	N _{tw} =	38,09	mm
Longitud neta a corte	N _{sl} =	173,84	mm
Longitud gruesa a corte	N _{gl} =	281,00	mm
Área neta a tracción	A _{nt} =	571,41	mm ²
Área neta a corte	A _{nv} =	2607,66	mm ²
Área gruesa a corte	A _{nt} =	4215,00	mm ²
		87148,80	kgf
		87297,08	kgf
		Ø=	0,75
	ØR _n =	65361,60	kgf > 18888 [VERIFICA]

• Verificación en el alma de la viga

Longitud horizontal al borde	L _{eh} =	50,00	mm
Ancho neto a tracción	N _{tw} =	38,09	mm
Longitud neta a corte	N _{sl} =	173,84	mm
Longitud gruesa a corte	N _{gl} =	281,00	mm
Área neta a tracción	A _{nt} =	327,61	mm ²
Área neta a corte	A _{nv} =	1495,06	mm ²
Área gruesa a corte	A _{nt} =	2416,60	mm ²
		49965,31	kgf
		50050,32	kgf
		Ø=	0,75
	ØR _n =	37473,98	kgf > 18888 [VERIFICA]

• Soldadura al ala de la columna

Momento de diseño (Mu)	M _u =	5575,83	kgf.m < 59600 [VERIFICA]
Esfuerzo axial en la viga (Nu)	N _u =	0,00	kgf
Brazo de momento	A _m =	430,00	mm
Tracción en la Placa superior	T _u =	12967,05	kgf
Resistencia por mm de soldadura	S _w =	396,85	kgf/mm
Resistencia de soldadura con carga	S _{wc} =	595,28	kgf/mm
Espesor de la soldadura de filete	t _{wf} =	0,06	mm
Espesor de la soldadura (asumido)	t _w =	8,00	mm

16. Diseño de la placa de continuidad

Verificación en la zona a compresión

Esfuerzo de diseño para las Placas	T _u =	12967,05	kgf
------------------------------------	------------------	----------	-----

Plastificación del alma

Fuerza de plastificación del alma	B _{ry} =	45307,24	kgf > 12967,05 [VERIFICA]
-----------------------------------	-------------------	----------	---------------------------

Pandeo del alma

Fuerza de plastificación del alma	B _{ry} =	99843,23	kgf > 12967,05 [VERIFICA]
Fuerza en zona de compresión	B _r =	45307,24	kgf

Verificación en la zona a tracción

Fuerza de tracción en el ala	$T_r =$	57539,79	kgf	>	12967,05	[VERIFIC]
Fuerza de diseño de las Placas	$F_s =$	-32340,19	kgf			
Fuerza de diseño en una Placa	$P_s =$	-16170,10	kgf			

Diseño de las Placas de continuidad

Ancho de Placa por ala de col	$b_{s1} =$	144,50	mm			
Ancho de Placa por ala de viga	$b_{s2} =$	84,50	mm			
El ancho de Placas de continuidad debería ser el mínimo de los dos valores anteriores						
Ancho de Placa para diseño	$b_s =$	84,50	mm			
Ancho de Placa útil	$b'_s =$	63,00	mm			
Espesor de Placa por plastificación	$t_{s1} =$	-11,27	mm			
Espesor de Placa por crippling	$t_{s2} =$	2,26	mm			
Como espesor de las Placas de continuidad se toma el mismo espesor de las Placas de la conexión						
Espesor de Placa	$t_s =$	30,00	mm	>	2,26	[VERIFIC]
Espesor de la soldadura de filete	$t_w =$	-0,16	mm			
Espesor de la soldadura (asumido)	$t_w =$	8,00	mm			

17. Verificación de la zona de panel

Se deben introducir aquí los momentos en los dos lados de la conexión transmitidos por las

Momento en la cara de la columna	$M_{fi} =$	51583,11	kgf.m
Momento en la cara de la columna	$M_{fi} =$	0,00	kgf.m

• Corte transmitido a la zona de panel

Corte en la zona de panel	$V_f =$	119960,73	kg		
Espesor requerido del alma de la col	$t_{rwc} =$	31,93	mm		
Espesor del alma de la columna	$t_{wc} =$	11,00	mm	>	31,93
Espesor de las Placas dobles	$t_{db} =$	20,93	mm	>	8,25
Espesor de cada Placa	$t_{db} =$	10,46	mm		

[Se req. Placas]
[Placas a ambos lados]
Se selecciona el valor

Ahora bien, en función de los resultados obtenidos; partiendo del corte en la zona de panel **119960,73 Kgf**; se obtiene que el espesor requerido en el alma de la columna es de $t_{rwc} = 31,93$ mm; hasta el momento el alma de la columna HEA-400 solo dispone de **11,00 mm**; razón por la cual es necesario adosar placas al alma de la columna a ambos lados, el espesor requerido es la diferencia **20,93 mm**; al dividir entre dos el espesor debe ser aproximadamente 10.46 mm; sin embargo se puede indicar que se seleccionara **11 mm** de espesor por cada placa adosada a ambos lados del alma columna. Adicionalmente el espesor de las placas adosadas no debe ser menor a **6 mm**. En la parte superior izquierda de la Figura 9, se aprecia la variable t_{rwc} , que es igual al espesor del alma del perfil HEA más dos espesores de las placas de continuidad, que son verticales de una altura d_z y un ancho w_z (Figura 9 inferior izquierda). A la derecha

• Verificación de la esbeltez de las placas dobles

Ancho de las Placas dobles	$w_{c1} =$	262,00	mm		
Espesor de cada Placa	$t_{db} =$	1,97	mm	<	10,46

[Se usa el valor seleccionado]

Las Placas dobles pueden ir soldadas por debajo de las Placas de continuidad
O como en este caso, ser más pequeñas que la zona encerrada por las Placas de continuidad
Alto de las Placas dobles $h_{c1} = 346,00$ mm Se selecciona como parte de la altura total de la viga

Uno de los momentos es cero, debido a que no llega viga, en ese sitio. Las ecuaciones utilizadas, son las siguientes:

$$V_f = \frac{M_{fi}}{d + t_p} + \frac{M'_{fi}}{d + t_p} \quad (47)$$

$$t_{rwc} = \frac{V_f}{0,55 * 0,9 * d_c * F_{yc}} \quad (48)$$

$$t'_{rwc} = t_{cw} \quad (49)$$

$$W_{c1} = d_c - 2 * t_{cf} \quad (50)$$

$$t_{db} = W_{c1} * \frac{\sqrt{F_{yp}}}{670} \quad h_{c1} \quad (51)$$

$$= d - 2 * r_c$$

Donde d, t_p son la altura y espesor del perfil IPE; d_c, F_{yc} son la altura y fluencia del acero del perfil HEA; t_{cw}, t_{cf}, r_c son el espesor del alma, espesor del ala y radio de curvatura del perfil HEA.

de la Figura 9 se observa que la placa de continuidad vertical va entre las placas de continuidad.

En la Figura 10, se presentan varias opciones para la colocación de la placa de continuidad vertical, las dos primeras son para el caso de que estas placas estén adjuntas al alma del perfil de la columna HEA, la diferencia se tiene en el lugar donde se realiza la soldadura: i) Para el caso de la gráfica izquierda de la Figura 10, la soldadura CJP se realiza entre la unión de la placa de continuidad y el ala de la columna; ii) Para el caso de la gráfica central, la soldadura CJP o de filete se realiza entre la placa de continuidad y el ala de la columna; iii) En el caso de la gráfica derecha las placas de continuidad no se encuentran al lado del alma y la soldadura se realiza a las alas del perfil HEA.

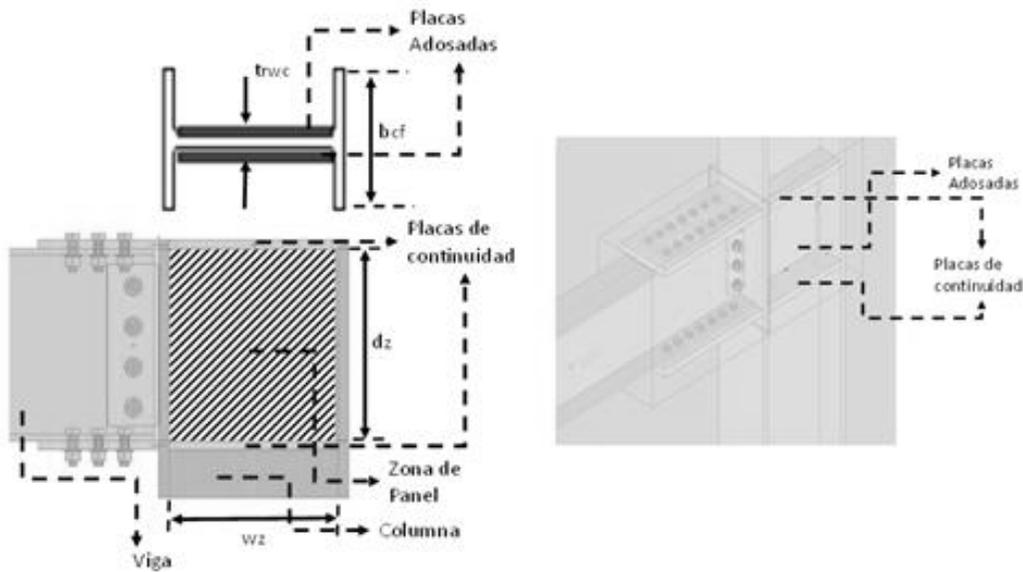


Figura 9. Placas de continuidad verticales en la zona del Panel, que tiene una altura d_z y un ancho w_z .

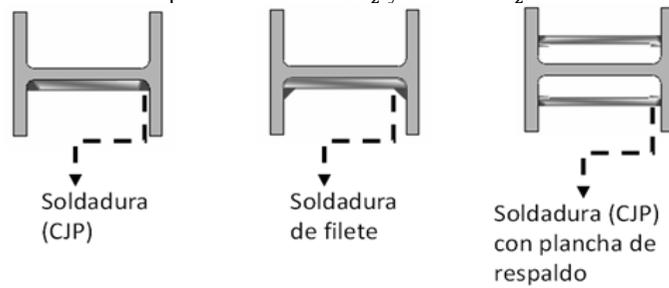


Figura 10. Posibles formas de soldadura y ubicación de las placas adosadas.

Posteriormente, el espesor mínimo de la placa de continuidad y del alma del perfil de la columna HEA, deberá ser mayor que:

$$t \geq \frac{d_z + w_z}{90} \quad (52)$$

$$t \geq \frac{(d - 2t_{bf}) + (d_c - 2t_{cf})}{90} \quad (53)$$

Reemplazando valores se tiene.

$$t \geq \frac{(400 - 27) + (390 - 38)}{90} \geq 8,06 \text{ mm} \quad (54)$$

En caso de no verificar la ecuación anterior, se puede utilizar soldadura de tapón para conectar las placas entre sí. Finalmente, en los casos en que no sea necesario colocar placas de continuidad, pero sí placas adosadas, las mismas deben extenderse 150 mm como mínimo, por encima y por debajo de la altura total de las vigas que llegan al nodo.

4. CONCLUSIONES.

La conexión BFP Bolted Flange Plate, demostró su eficiencia durante en el terremoto de 2016 de Pedernales, en la construcción de la Unidad de Vigilancia Comunitaria UVC de Manta. Las placas horizontales y verticales de la conexión BFP, deben ser realizadas en la fábrica o taller de la persona que va a construir la edificación, de tal manera que en el proyecto únicamente se dediquen a emperrar la conexión.

Se recomienda que el ancho de las placas horizontales sea del mismo tamaño que el ancho de la viga IPE, una menor dimensión implica tener espesores de la placa más altos para cumplir con todos los requisitos de diseño indicados en este artículo. La placa vertical que trabaja a corte, tiene menores dimensiones que las placas horizontales y no necesariamente la longitud de la placa vertical debe ser

igual a la altura del perfil IPE menos dos veces el espesor del ala, puede ser menor.

Es práctico que las placas de continuidad tengan el mismo espesor que las placas horizontales; se debe verificar que su ancho no sobresalga del ancho del perfil HEA y que la longitud de las mismas sea igual a la longitud del perfil HEA menos dos veces el espesor del ala. Para que tenga un buen desempeño al desgarre y al corte; en general, es conveniente que la separación entre pernos se encuentre entre 50 y 60 mm.

Se recomienda tener un programa para el diseño de una conexión BFP en el que se pueda interactuar en función de los resultados que se van obteniendo. Un aspecto a tener en cuenta antes de diseñar una estructura es conocer si los materiales a emplear se consiguen en el país, para no tener que importar ya que esto, a más de encarecer el Proyecto demanda más tiempo.

REFERENCIAS

1. **ANSI/AISC 358-16.** *Prequalified Connections For Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*. Chicago : American Institute of Steel Construction, 2016.
2. **Elnashai , A. S y Di Sarno, L.** *Fundamentals of Earthquake Engineering*. Londres : Wiley, 2008.
3. **Aguiar, R, y otros.** *Reforzamiento de estructuras con disipadores de energia*. s.l. : Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 2016.
4. **Vielma , J.C.** *Conexión BFP Bolted Flange Plate, Segundo Minicurso de estructuras*. s.l. : Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, 2017.
5. **Abella , C. y Pannillo, G.** *Bolted Flange Plate (BFP) Moment Connectio- ANSI/AISC 358-16, programa de cálculo en Excel*. 2017.
6. **Briceño, L.** *Desarrollo de una herramienta en Excel para diseño de conexiones precalificadas de acero para sistemas de marcos especiales (SMF) e intermedios (IMF) según el Código Sísmico de Costa Rica 2010*. s.l. : Proyecto final de graduación para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería en Construcción, 47 p, 2012.
7. **ANSI/AISC 341-10.** *Seismic provisions for structural steel buildings*. Chicago, Illinois : s.n., 2010.
8. **ANSI/AISC 360-16.** *Specification for Structural steel Buildings*. Chicago, Illinois : s.n., 2016.

MACROS EN MICROSOFT EXCEL PARA EL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS PLANAS UTILIZANDO EL MÉTODO DE RIGIDEZ DIRECTA.

Nelson López ⁽¹⁾, Juan Carlos Vielma ⁽²⁾, Leonardo López ⁽³⁾, Vanessa Montesinos ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ MSc., Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Politécnica Salesiana UPS. Quito, Ecuador.

⁽²⁾ Dr. Ing. Escuela de Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile

⁽³⁾ MSc., Universidad Tecnológica Indoamérica. Quito, Ecuador.

⁽⁴⁾ Ing., Investigadora independiente. Tenerife, España.

INTRODUCCION

La resolución de estructuras planas por métodos matriciales, resulta ser un trabajo de acuerdo con el número de elementos (barras y nodos) presentes en la estructura, lo que representa un gran número de cálculos por elemento que, al trabajar manualmente, podría incurrir en errores, como el uso de pocos decimales, transponer valores, transponer índices de matrices que alterarían el orden de los coeficientes de la matriz de la estructura y por lo tanto el cálculo erróneo de los valores de rigidez. El uso de macros en Microsoft Excel puede empujarse en el cálculo de estructuras planas, y desde el punto de vista académico, el estudiante puede dedicar más tiempo en analizar el problema que en resolver el problema, sin desestimar la importancia de conocer y realizar los cálculos manualmente.

En general, los programas de cálculo estructural existentes utilizan métodos de cálculo matricial para resolver estructuras, sin embargo, las matrices generadas

La macro se desarrolló basándose en los métodos de análisis matricial de estructuras, específicamente con el método de rigidez directa. La formulación general de este método se muestra en la ecuación 1, de acuerdo con [1], [2], [3] y [4] que se utiliza para calcular las fuerzas de reacción en los apoyos.

$$\{F\} = [K] * \{D\} + \{Qe\} \quad (1)$$

Donde:

$\{F\}$ es el vector de fuerzas nodales (reacciones y fuerzas puntuales).

Partiendo del enfoque anterior, se realiza una matriz basada en fuerzas y desplazamientos conocidos y desconocidos, guardando la relación de que, con las fuerzas conocidas, los desplazamientos son desconocidos y viceversa. El orden se muestra en la ecuación 3 según [1] y [2].

$$\begin{pmatrix} Q_n \\ Q_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{nn} & K_{na} \\ K_{an} & K_{aa} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} D_n \\ D_a \end{pmatrix} \quad (3)$$

Donde:

Q_n es el vector de fuerzas nodales conocidas.

Q_a es el vector de fuerzas nodales desconocidas (reacciones).

por cada elemento no pueden ser visualizadas por el usuario, solo los resultados obtenidos de la resolución final, por lo que académicamente es difícil para el estudiante tener un punto de comparación para verificar sus resultados. A esto se le anexa el hecho de que casi todos los programas no poseen licencias gratuitas o académicas, y se necesitan tutoriales para poder manipularlos correctamente.

En este artículo se presenta una macro en Microsoft Excel que representa una alternativa de uso sencillo para la enseñanza de la resolución de estructuras planas como pórticos y cerchas. La programación de la hoja de cálculo se realizó con macros en Microsoft Excel. Una macro en Microsoft Excel se define como la interacción entre Microsoft Excel y Visual Basic en la misma hoja de cálculo, pudiendo realizar operaciones complejas en la hoja de cálculo de forma rápida y sencilla.

2. BASES TEÓRICAS

$\{K\}$ es la matriz de rigidez.

$\{D\}$ es el vector de desplazamientos nodales.

$\{Qe\}$ es el vector de fuerzas de empotramiento.

El cálculo de los desplazamientos nodales se realiza de acuerdo a la ecuación 2.

$$\{D\} = [K^{-1}] * \{F - Qf\} \quad (2)$$

Donde $[K^{-1}]$ es la matriz de flexibilidad de la estructura. El método de cálculo en el que se basa la programación de la macro es el método de los desplazamientos.

2.1. Solución general por el método de los desplazamientos

K_{nn} es la submatriz de rigidez utilizada para el cálculo de los desplazamientos nodales.

K_{na} es la submatriz de rigidez utilizada para el cálculo de las reacciones. ($K_{na} = K_{an}$).

K_{aa} es la submatriz de rigidez utilizada para el cálculo de las reacciones debidas a desplazamientos en los apoyos.

D_n es el vector de desplazamientos nodales conocidos.

D_a es el vector de desplazamientos nodales desconocidos.

3. MATRIZ DE RIGIDEZ PARA UN ELEMENTO ORIENTADO ARBITRARIAMENTE.

En general, un elemento estructural 2D está sujeto a fuerzas axiales, fuerzas de corte y momentos de flexión. Los ejes originales del elemento son ejes locales,

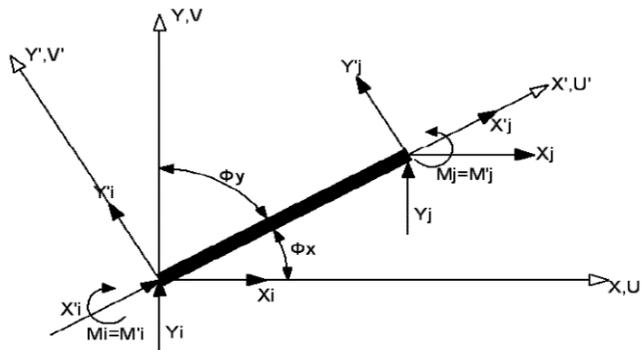


Figura 1. Caso general de un elemento estructural 2D orientado arbitrariamente. [5]

La matriz de transformación (T) entre ejes locales y globales se muestra en la ecuación 4.

mientras que los ejes de toda la estructura son ejes globales, por lo que es necesario transformar los ejes locales en ejes globales, como se muestra en la Figura 1.

$$\begin{bmatrix} \cos\phi_x & \sin\phi_x & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\phi_x & \cos\phi_x & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\phi_x & \sin\phi_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin\phi_x & \cos\phi_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

La matriz de rigidez de un elemento estructural orientado arbitrariamente, puede obtenerse de una barra horizontal, sometida a fuerzas de corte y momentos flectores, cuando se generan los siguientes desplazamientos y rotaciones en sus extremos.

3.1 Desplazamiento vertical unitario en el nodo i.

Las reacciones en los nodos de la viga estudiada se pueden obtener aplicando las relaciones de Mohr [6], [7], [8] como se muestra en las ecuaciones 5, 6, 7 y 8.

$$V(x) = \frac{1}{EI} \int_0^x -w \, dx \quad (5)$$

$$M(x) = \frac{1}{EI} \int_0^x V(x) \, dx \quad (6)$$

$$\phi(x) = \frac{1}{EI} \int_0^x M(x) \, dx \quad (7)$$

$$y(x) = \frac{1}{EI} \int_0^x \phi(x) \, dx \quad (8)$$

Resolviendo las ecuaciones anteriores, se obtienen las ecuaciones 9, 10, 11 y 12 (con $w = 0$).

$$V(x) = \frac{C1}{EI} \quad (9)$$

$$M(x) = \frac{1}{EI} (C1x + C2) \quad (10)$$

$$\phi(x) = \frac{1}{EI} (C1x^2 + C2x + C3) \quad (11)$$

$$y(x) = \frac{1}{EI} (C1x^3 + C2x^2 + C3x + C4) \quad (12)$$

Las ecuaciones 9, 10, 11 y 12, se resuelven utilizando las siguientes condiciones de frontera (ver Tabla 1):

Tabla 1. Condiciones de frontera para la resolución de las ecuaciones.

x	y	ϕ
0	$v1 = 1$	0
L	0	0

Las constantes $C1$, $C2$, $C3$ y $C4$ poseen los siguientes valores:

$$C1 = 12 * \frac{EI}{L^3}; C2 = -6 * \frac{EI}{L^2}; C3 = 0; C4 = EI$$

Sustituyendo los valores de $C1$ y $C2$ en las ecuaciones 9 y 10, se obtienen las ecuaciones 13 y 14.

$$V(x) = 12 * \frac{EI}{L^3} \quad (13)$$

$$M(x) = 12 * \frac{EI}{L^3} x - 6 * \frac{EI}{L^2} \quad (14)$$

Resolviendo las ecuaciones 13 y 14, para $x = 0$ and $x = L$, se obtienen las fuerzas en los nodos, como se muestra en la Figura 2.

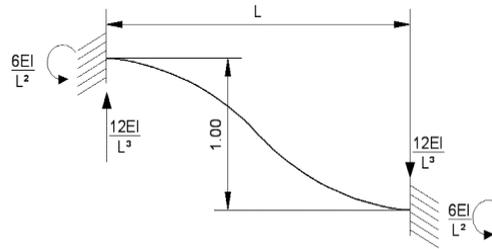


Figura 2. Elemento horizontal sometido a fuerzas de corte y momentos flectores debido a desplazamiento vertical unitario en el nodo i. [5]

3.2 Desplazamiento vertical unitario en el nodo j.

Aplicando el mismo procedimiento anterior, y variando las condiciones de contorno para un desplazamiento vertical unitario en el nodo j, se obtienen los valores de las reacciones en los nodos como se muestra en la Figura 3.

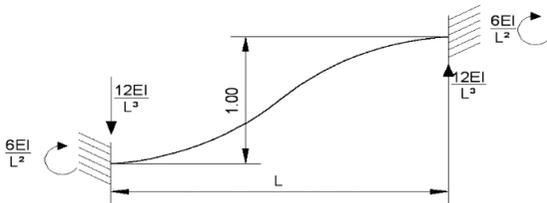


Figura 3. Elemento horizontal sometido a fuerzas de corte y momentos flectores debido a desplazamiento vertical unitario en el nodo j. [5].

3.3 Rotación unitaria en el nodo i.

Aplicando el mismo procedimiento anterior, y variando las condiciones de contorno para una rotación unitaria en el nodo j, se obtienen los valores de las reacciones en los nodos como se muestra en la Figura 4.

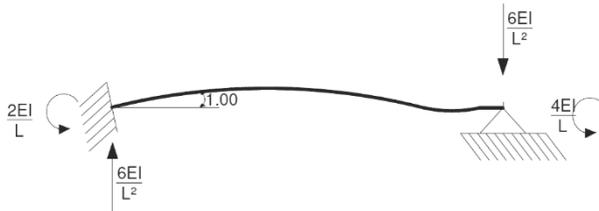


Figura 4. Elemento horizontal sometido a fuerzas de corte y momentos flectores debido a rotación unitaria en el nodo i.

3.4 Rotación unitaria en el nodo j.

Aplicando el mismo procedimiento anterior, y variando las condiciones de contorno para una rotación unitaria en el nodo j, se obtienen los valores de las reacciones en los nodos como se muestra en la Figura 5. Elemento horizontal sometido a fuerzas de corte y momentos flectores debido a rotación unitaria en el nodo j.

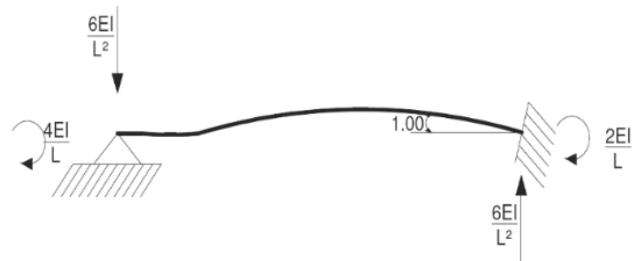


Figura 5. Elemento horizontal sometido a fuerzas de corte y momentos flectores debido a rotación unitaria en el nodo j.

3.5 Desplazamiento horizontal unitario en el nodo i y en el nodo j.

Basándose en la Ley de Hooke, la tensión axial para un elemento estructural sometido a fuerzas de compresión o tracción, se muestra en la ecuación 15.

$$P = \frac{EA}{L} \quad (15)$$

La matriz de rigidez para un elemento estructural, en ejes locales, sometida a fuerzas de corte, fuerzas axiales y momentos de flexión, se muestra en la ecuación 16, según [1], [2], [9], y [10].

$$\begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Para obtener la matriz de rigidez de un elemento orientado arbitrariamente, es necesario convertir los ejes locales en ejes globales, aplicando la ecuación 17, según [1], [2], [9], and [10].

$$\bar{K} = T^T * K * T \quad (17)$$

Una vez aplicada la ecuación 17, la matriz de rigidez para un elemento estructural orientado arbitrariamente se muestra en la ecuación 18.

$$\begin{bmatrix} \frac{AE}{L} \lambda^2 + \frac{12EI}{L^3} \mu^2 & \left[\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right] \lambda \mu & -\frac{6EI}{L^2} \mu & -\left[\frac{AE}{L} \lambda^2 + \frac{12EI}{L^3} \mu^2 \right] & -\left[\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right] \lambda \mu & -\frac{6EI}{L^2} \mu \\ \left[\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right] \lambda \mu & \frac{AE}{L} \mu^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda^2 & \frac{6EI}{L^2} \lambda & -\left[\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right] \lambda \mu & \left[\frac{AE}{L} \mu^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda^2 \right] & \frac{6EI}{L^2} \lambda \\ -\frac{6EI}{L^2} \mu & \frac{6EI}{L^2} \lambda & \frac{4EI}{L} & \frac{6EI}{L^2} \mu & -\frac{6EI}{L^2} \lambda & \frac{2EI}{L} \\ -\left[\frac{AE}{L} \lambda^2 + \frac{12EI}{L^3} \mu^2 \right] & -\left[\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right] \lambda \mu & \frac{6EI}{L^2} \mu & \frac{AE}{L} \lambda^2 + \frac{12EI}{L^3} \mu^2 & \left[\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right] \lambda \mu & \frac{6EI}{L^2} \mu \\ -\left[\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right] \lambda \mu & \left[\frac{AE}{L} \mu^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda^2 \right] & -\frac{6EI}{L^2} \lambda & \left[\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right] \lambda \mu & \frac{AE}{L} \mu^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda^2 & -\frac{6EI}{L^2} \lambda \\ -\frac{6EI}{L^2} \mu & \frac{6EI}{L^2} \lambda & \frac{2EI}{L} & \frac{6EI}{L^2} \mu & -\frac{6EI}{L^2} \lambda & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (18)$$

Donde:

- A es el área transversal del elemento en estudio.
- E es el módulo de elasticidad del material del elemento estructural.
- I es el momento de inercia de la sección transversal.
- L es la longitud del elemento estructural.
- γ es el $\cos \phi$.
- μ es el $\sin \phi$.

4. DESARROLLO DE LA MACRO.

El programa de ensamblaje consta de 3 hojas de Excel, donde la primera se denomina "Matriz de rigidez", y en ella se introducen los datos de geometría de la estructura en estudio para generar la matriz de rigidez de cada elemento y luego ensamblar la matriz de rigidez del conjunto completo. estructura; otra hoja llamada "Matriz de Fuerzas", donde se calculan las fuerzas de incrustación de los elementos, se introducen las fuerzas nodales y los desplazamientos nodales conocidos; una hoja llamada "Cálculos", donde se realizan las operaciones matriciales necesarias para calcular las reacciones y los desplazamientos.

4.1 Programación de la hoja "matriz de rigidez".

En la hoja de entrada de datos, se solicitarán los datos de geometría y topología de estructura en estudio, y los datos

Tabla 2.

En esta etapa, la macro solo está programada para leer los datos de entrada. Siendo responsable de leer estos datos con las coordenadas de las filas en números y las columnas en números, por ejemplo, la celda A1 en Excel, es la celda (1,1) en el código de Visual Basic, porque las columnas no se leen como letras sino en números. El comando en Visual Basic para leer y asignar valores de celdas es "Celdas (fila, columna)" [11], como se muestra en el apéndice 1, donde "i" es el número de elementos de la estructura, que se lee automáticamente del número de filas de los datos de entrada. Los valores de la matriz de rigidez para cada elemento tienen un código en Visual Basic como se muestra en el apéndice 1, donde x y w, son valores de filas y columnas para imprimir los valores calculados en Excel. Para el ensamblaje de la matriz de rigidez global, se realizó un ciclo doble "For-Next" [4], para buscar y sumar algebraicamente los valores de rigidez para nodos repetidos. Para calcular la matriz de rigidez de cada elemento, se debe presionar un botón denominado "Crear matriz de rigidez de cada elemento", para activar la macro, como se muestra en la Figura 6.

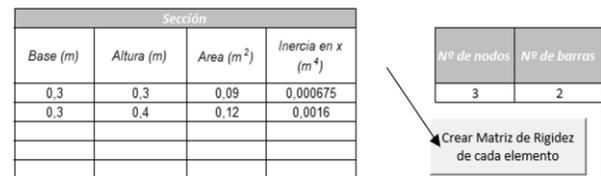


Figura 6. Botón para crear la matriz de rigidez de cada elemento. Fuente: Autores.

Una vez que se hayan creado las matrices de rigidez para cada elemento, la macro de ensamblaje debe activarse utilizando otro botón, denominado "Crear matriz de rigidez global", como se muestra en la Figura 7.

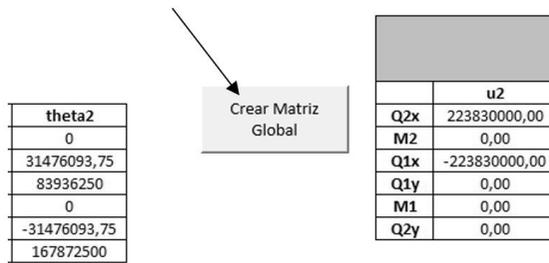


Figura 7. Botón para ensamblar la matriz de rigidez global. Fuente: Autores.

Para probar la precisión de la macro, un ejemplo del libro del autor [1], ejemplo 11.22 (ver Figura 8), en la página 520, será resuelto.

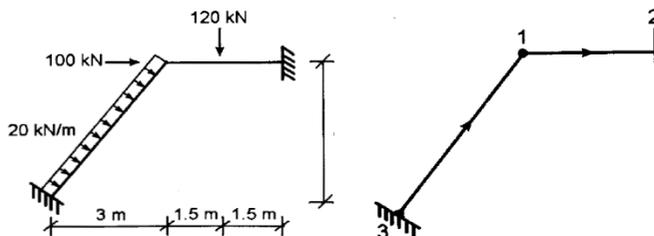


Figura 8. Ejemplo 11.22, página 520. [1].

Los datos requeridos para el análisis, se muestran en la

Tabla 2.

Tabla 2. Datos de entrada de la estructura. Fuente: Autores

Elemento	Nodo i	Nodo j	Longitud (m)	θ (°)	Módulo de elasticidad (Kg/m ²)	Base (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Inercia en x (m ⁴)
1	1	2	3	0	19000000	0,3	0,3	0,09	0,000675
2	3	1	5	53,13	19000000	0,3	0,4	0,12	0,0016

Las matrices de rigidez de cada elemento se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Matriz de rigidez de cada elemento (kN/m). Fuente: Autores.

Elemento 1	u1	v1	theta1	u2	v2	theta2
Q1x	570000	0	0	-570000	0	0
Q1y	0	5700	8550	0	-5700	8550
M1	0	8550	17100	0	-8550	8550
Q2x	-570000	0	0	570000	0	0
Q2y	0	-5700	-8550	0	5700	-8550
M2	0	8550	8550	0	-8550	17100
Elemento 2	u3	v3	theta3	u1	v1	theta1
Q3x	166027,78	217479,17	-5836,8	-166027,8	-217479,17	-5836,8
Q3y	217479,17	292890,62	4377,6	-217479,2	-292890,62	4377,6
M3	-5836,8	4377,6	24320	5836,8	-4377,6	12160
Q1x	-166027,8	-217479,2	5836,8	166027,78	217479,17	5836,8
Q1y	-217479,2	-292890,6	-4377,6	217479,17	292890,62	-4377,6
M1	-5836,8	4377,6	12160	5836,8	-4377,6	24320

La matriz de rigidez de cada elemento según [1], se muestran en la Figura 9.

$$\begin{bmatrix}
 u_1 & v_1 & \theta_1 & u_2 & v_2 & \theta_2 \\
 570000 & 0 & 0 & -570000 & 0 & 0 \\
 0 & 5700 & 8550 & 0 & -5700 & 8550 \\
 0 & 8550 & 17100 & 0 & -8550 & 17100 \\
 -570000 & 0 & 0 & 570000 & 0 & 0 \\
 0 & -5700 & -8550 & 0 & 5700 & -8550 \\
 0 & 8550 & 8550 & 0 & -8550 & 17100
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 u_1 & v_1 & \theta_1 & u_2 & v_2 & \theta_2 \\
 166030 & 217480 & -5840 & -166030 & -217480 & -5840 \\
 217480 & 292890 & 4380 & -217480 & -292890 & 4380 \\
 -5840 & 4380 & 24320 & 5840 & -4380 & 12160 \\
 -166030 & -217480 & 5840 & 166030 & 217480 & 5840 \\
 -217480 & -292890 & -4380 & 217480 & 292890 & -4380 \\
 -5840 & 4380 & 12160 & 5840 & -4380 & 24320
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 u_1 \\
 v_1 \\
 \theta_1 \\
 u_2 \\
 v_2 \\
 \theta_2
 \end{bmatrix}$$

Figura 9. Matriz de rigidez de cada elemento (kN/m). [1]

Obsérvese que las matrices obtenidas por el macro (Tabla 3) son iguales a las calculadas por el libro fuente [1] (Figura 9). La matriz global debe ser ensamblada, y manualmente, el proceso podría ser largo debido a la suma de los factores de rigidez para nodos repetidos. La macro tiene un "ciclo de buscador y acumulador", que funciona buscando los índices en cada matriz de rigidez de los elementos y sumando los valores de los índices iguales. Al presionar el botón "Crear matriz de rigidez global", la

Tabla 4. Los desplazamientos en el nodo 1 son desconocidos, y de acuerdo a [1], [2], [4], [12], estos índices deben organizarse en primer lugar, y luego se organizan los valores de los desplazamientos conocidos que corresponden a los de los apoyos en los nodos 2 y 3.

Tabla 4. Matriz global de la estructura ensamblada. [5].

	u1	v1	theta1	u2	v2	theta2	u3	v3	theta3
Q1 x	736027,78	217479,17	5836,80	570000,00	0,00	0,00	166027,78	217479,17	5836,80
Q1 y	217479,17	298590,62	4172,40	0,00	5700,00	8550,00	217479,17	292890,62	4377,60
M1	5836,80	4172,40	41420,00	0,00	8550,00	8550,00	-5836,80	4377,60	12160,00
Q2 x	570000,00	0,00	0,00	570000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Q2 y	0,00	-5700,00	8550,00	0,00	5700,00	8550,00	0,00	0,00	0,00
M2	0,00	8550,00	8550,00	0,00	8550,00	17100,00	0,00	0,00	0,00
Q3 x	166027,78	217479,17	5836,80	0,00	0,00	0,00	166027,78	217479,17	5836,80
Q3 y	217479,17	292890,62	4377,60	0,00	0,00	0,00	217479,17	292890,62	4377,60
M3	5836,80	-4377,60	12160,00	0,00	0,00	0,00	-5836,80	4377,60	24320,00

La submatriz que contiene los subíndices referidos al nodo 1, es la matriz K_{nn} , como se muestra en la Figura 10, la cual coincide con la matriz creada por la macro (las

Tabla 4). La matriz Kna se muestra en la Figura 11.

$$\begin{bmatrix} 736030 & 217480 & 5840 \\ 217480 & 298590 & 4170 \\ 5840 & 4170 & 41420 \end{bmatrix}$$

Figura 10. Matriz Knn . [1].

$$\begin{bmatrix} -570000 & 0 & 0 \\ 0 & -5700 & -8550 \\ 0 & 8550 & 8550 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -166030 & -217480 & -5840 \\ -217480 & -292890 & 4380 \\ 5840 & -4380 & 12160 \end{bmatrix}$$

Figura 11. Matriz Kna . [1].

Se observa que todas las submatrices calculadas con la macro son muy cercanas a las matrices generadas en el ejercicio del libro. [1].

4.2 Programación de la hoja “Matriz de fuerzas”.

En esta hoja, el usuario debe ingresar las fuerzas aplicadas en los nodos y elementos. La hoja reconoce automáticamente el número de elementos y nodos, y solo pregunta por el tipo de fuerzas aplicadas, como se muestra en la Figura 12 y Figura 13.

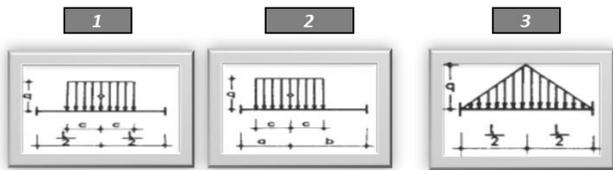


Figura 12. Tipos de fuerzas en elementos estructurales. Fuente: Autores.

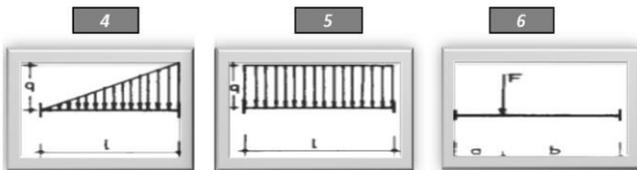


Figura 13. Tipos de fuerzas en elementos estructurales. Fuente: Autores.

Una vez elegido el tipo de fuerzas aplicadas a los elementos, el valor de la fuerza debe ingresarse en las celdas correspondientes, como se muestra desde la Tabla 5 y 6.

Tabla 5. Datos de entrada para la generación de fuerzas de empotramiento con la macro. Fuente: Autores.

Cuadrante	Elemento	Nodo i	Nodo j	L (m)	θ (°)	Solicitud	q (Kg/m)	c (m)	L/2 (m)	a (m)	b (m)
4	1	1	2	3	0	6	120			1,5	1,5
5	2	3	1	5	53,13	5	20		2,5		

Tabla 6. Fuerzas de empotramiento calculadas con la macro. Fuente: Autores.

Reacciones de empotramiento (coordenadas locales)				Reacciones de empotramiento (coordenadas globales)			
Mi (Kg.m)	Mj (Kg.m)	Ri (kg)	Rj (Kg)	Rix (kg)	Riy (Kg)	Rjx (kg)	Rjy (Kg)
45.00	-45.00	60.00	60.00	0.00	60.00	0.00	60.00
41.67	-41.67	50.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00

La fuerzas de empotramiento de acuerdo a [1], se muestran en la Figura 14 y Figura 15.

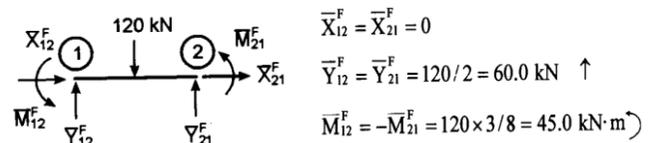


Figura 14. Fuerzas de empotramiento en el elemento 1. Fuente [1].

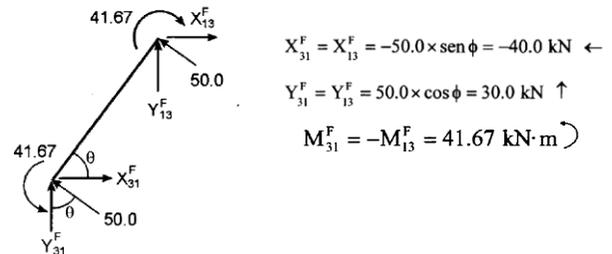


Figura 15. Fuerzas de empotramiento en el elemento 2. Fuente [1].

Una vez calculadas las fuerzas nodales debidas a las fuerzas en los elementos a los nodos, es necesario organizar estas fuerzas según el orden (índices) de la matriz global, es decir, las fuerzas en el nodo 1 deben ser las primeras y las fuerzas en los nodos 2 y 3, debe ser el último, justo en ese orden. El Código se activa al presionar el botón llamado “Generar matriz de fuerzas y desplazamientos” (ver Figura 16), y los resultados se

Tabla 7.

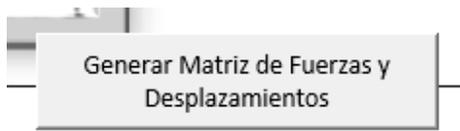


Figura 16. Botón para generar matrices de fuerzas y desplazamientos. Fuente: Autores.

Tabla 7. Matrices de fuerzas de empotramiento calculadas con la macro. Fuente: Autores.

Elemento 1		Elemento 2	
Q1x	0,00	Q2x	-40,00
Q1y	60,00	Q2y	30,00
M1	45,00	M2	41,67
Q2x	0,00	Q3x	-40,00
Q2y	60,00	Q3y	30,00
M2	-45,00	M3	-41,67

Tabla 7, está organizada para cada elemento. La matriz organizada de fuerzas y desplazamientos se calcula mediante la macro (ver Tabla 8). Los valores en la matriz de fuerzas indican que el nodo tiene fuerzas puntuales en él, mientras que las celdas que no son valores indican que las fuerzas en el nodo son desconocidas (reacciones).

Tabla 8. Matriz de fuerzas y desplazamientos organizadas. Fuente: Autores.

Fuerzas de empotramiento		Fuerzas puntuales	Matriz de desplazamientos	
Q2x	0	100	u2	
Q2y	-60	0	v2	
M2	-45	0	theta2	
Q3x	-40		u3	0
Q3y	30		v3	0
M3	41,67		theta3	0
Q4x	0		u4	0
Q4y	0		v4	0
M4	0		theta4	0

En la matriz de desplazamiento, los valores con "ceros" indican que los desplazamientos y las rotaciones en los soportes son iguales a cero, mientras que las celdas sin valores indican que los desplazamientos son desconocidos. Con esta convención, la macro detecta que las celdas vacías son incógnitas.

4.3 Programación de la hoja "Cálculos"

Básicamente, esta hoja calcula los desplazamientos y reacciones de la estructura. Los desplazamientos se calculan utilizando la matriz inversa de rigidez [2]. La inversa de esta matriz, no debe tener el orden completo de la matriz de rigidez global, solo tiene el orden del número de desplazamientos desconocidos. Para activar el código, se debe presionar un botón llamado "Calcular reacciones y desplazamientos", como se muestra en la Figura 17.

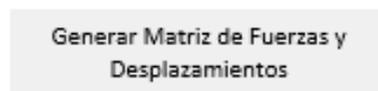


Figura 17. Botón para calcular y reacciones y desplazamientos. Fuente: Autores.

Una vez pulsado el botón de la Figura 17, los resultados se muestran en la Tabla 9 y la Tabla 10.

Tabla 9. Matriz inversa. Fuente: Autores.

Matriz inversa		
1,73179E-06	-1,25972E-06	-1,17143E-07
-1,25972E-06	4,27011E-06	-2,52629E-07
-1,17143E-07	-2,52629E-07	2,41849E-05

Tabla 10. Matriz de resultados. Fuente: Autores.

Resultados	
0,000254	u1?
-0,000371	v1?
-0,001085	theta1?
-184,80	Q2x?
101,39	Q2y?
-15,78	M2?
4,80	Q3x?
78,61	Q3y?
-51,75	M3?

Los resultados de la estructura según [1], se muestran en la Figura 18.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} X_2 = X_{21} \\ Y_2 = Y_{21} \\ M_2 = M_{21} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -20305 \text{ kN} \leftarrow \\ 63.83 \text{ kN} \uparrow \\ -50.42 \text{ kN}\cdot\text{m} \curvearrowright \end{bmatrix} & \begin{aligned} u_1 &= 0.356 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow \\ v_1 &= -0.560 \times 10^{-3} \text{ m} \downarrow \\ \theta_1 &= -0.736 \times 10^{-4} \text{ rad} \curvearrowright \end{aligned} \\ \begin{bmatrix} X_3 = X_{31} \\ Y_3 = Y_{31} \\ M_3 = M_{31} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 23.04 \text{ kN} \rightarrow \\ 11617 \text{ kN} \uparrow \\ 45.30 \text{ kN}\cdot\text{m} \curvearrowright \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Figura 18. Resultados de la estructura. [1].

Obsérvese que la macro convergió a los resultados correctos, coincidiendo con la solución plantada por [1].

5. CONCLUSIONES.

Como conclusión, se puede establecer que la macro en Excel funciona y se ejecuta de manera simple y didáctica para la resolución de estructuras mediante el método de rigidez directa y con una programación simple en un programa conocido y accesible por cualquier usuario, para que pueda ser usado con fines académicos pudiendo

observar la generación de todas las matrices inmersas en los cálculos.

Esta herramienta informática se puede utilizar como complemento de las actividades académicas del estudiante y la resolución de los ejercicios, pudiendo dedicar más tiempo a analizar el problema que a realizar una gran cantidad de cálculos.

6. REFERENCIAS

- [1] J. Uribe Escamilla, *Análisis de Estructuras*, Bogotá: ECOE, 2000.
- [2] W. Weaver y J. Gere, *Matrix Analysis of Framed Structures*, New York, 1990.
- [3] R. Aguiar, *Análisis Matricial de Estructuras con CEINCI-LAB*, Quito, 2014.
- [4] D. Mueller, *An introduction to the finite element method using MATLAB*, Indiana, 2016.
- [5] N. Lopez, *Análisis plano de estructuras mediante macros en microsoft excel.*, Barquisimeto, 2011.
- [6] F. Beer, R. Johnston, J. DeWolf y D. Mazurek, *Mecánica de Materiales*, Distrito Federal: McGraw-Hill, 2010.
- [7] R. Hibbeler, *Análisis Estructural*, Naucalpan de Juárez, 2012.
- [8] E. Popov, *Engineering Mechanics of solids*, California, 2000.
- [9] H. Gavin, *Beam Element Stiffness Matrices*, North Carolina, 2014.
- [10] Y. Kwon y H. B. Bang, *The finite element method using Matlab*, Minnesota, 1996.
- [11] R. Shepherd, *Excel VBA Macro Programming*, Osborne, 2004.
- [12] J. Dean, *Introduction to the Finite Element Method (FEM)*, Cambridge.

7. APÉNDICE.

```
Sub matrizglobal()  
Range("Y6:AS208").Select  
Selection.ClearContents  
Sheets("Matriz de Rigidez").Select  
'Ensamble de la matriz global  
q = Cells(5, 14)  
x = 0  
r = 3 * Cells(5, 13)
```

```
For i = 1 To q  
Sheets("matriz coordenadas").Select  
cc = Cells(i + 4, 4)  
ss = Cells(i + 4, 5)  
coscos = Cells(i + 4, 6)  
sensen = Cells(i + 4, 7)  
cossen = Cells(i + 4, 8)  
Sheets("Matriz de Rigidez").Select  
'Valores de la matriz de cada elemento  
E = Cells(i + 4, 7)
```

```
l = Cells(i + 4, 5)  
G = Cells(i + 4, 11)  
a = Cells(i + 4, 10)  
Ñ = (12 * E * G / l / l / l)  
Z = (6 * E * G / l / l)  
n = (4 * E * G / l)  
m = (2 * E * G / l)  
x = x + 7  
w = 16  
nodoi = Cells(i + 4, 3)
```

```

nodoj = Cells(i + 4, 4)
Cells(x - 1, 15) = "Elemento " & i
Cells(x - 1, 16) = "u" & nodoi
Cells(x - 1, 17) = "v" & nodoi
Cells(x - 1, 18) = "theta" & nodoi
Cells(x - 1, 19) = "u" & nodoj
Cells(x - 1, 20) = "v" & nodoj
Cells(x - 1, 21) = "theta" & nodoj
Cells(x, 15) = "Q" & nodoi & "x"
Cells(x + 1, 15) = "Q" & nodoi & "y"
Cells(x + 2, 15) = "M" & nodoi
Cells(x + 3, 15) = "Q" & nodoj & "x"
Cells(x + 4, 15) = "Q" & nodoj & "y"
Cells(x + 5, 15) = "M" & nodoj
Cells(x, w) = E * a / 1 * cc * cc + 12 * E * G /
1 / 1 / 1 * ss * ss
Cells(x, w + 1) = (E * a / 1 - 12 * E * G / 1 / 1 /
1) * cossen
Cells(x, w + 2) = -6 * E * G / 1 / 1 * ss
Cells(x, w + 3) = -(E * a / 1 * coscos + 12 * E
* G / 1 / 1 / 1 * sensen)
Cells(x, w + 4) = -Cells(x, w + 1)
Cells(x, w + 5) = Cells(x, w + 2)
Cells(x + 1, w) = (E * a / 1 - 12 * E * G / 1 / 1 /
1) * cossen
Cells(x + 1, w + 1) = a * E / 1 * sensen + 12 *
E * G / 1 / 1 / 1 * coscos
Cells(x + 1, w + 2) = 6 * E * G / 1 / 1 * cc
Cells(x + 1, w + 3) = -Cells(x + 1, w)
Cells(x + 1, w + 4) = -Cells(x + 1, w + 1)
Cells(x + 1, w + 5) = Cells(x + 1, w + 2)
Cells(x + 2, w) = -6 * E * G / 1 / 1 * ss
Cells(x + 2, w + 1) = 6 * E * G / 1 / 1 * cc
Cells(x + 2, w + 2) = 4 * E * G / 1
Cells(x + 2, w + 3) = -Cells(x + 2, w)
Cells(x + 2, w + 4) = -Cells(x + 2, w + 1)
Cells(x + 2, w + 5) = 2 * E * G / 1
Cells(x + 3, w) = -(a * E / 1 * coscos + 12 * E
* G / 1 / 1 / 1 * sensen)
Cells(x + 3, w + 1) = -(a * E / 1 - 12 * E * G / 1
/ 1 / 1) * cossen
Cells(x + 3, w + 2) = 6 * E * G / 1 / 1 * ss
Cells(x + 3, w + 3) = -Cells(x + 3, w)
Cells(x + 3, w + 4) = -Cells(x + 3, w + 1)
Cells(x + 3, w + 5) = 6 * E * G / 1 / 1 * ss
Cells(x + 4, w) = -Cells(x + 1, w)
Cells(x + 4, w + 1) = -Cells(x + 1, w + 1)
Cells(x + 4, w + 2) = -Cells(x + 1, w + 2)
Cells(x + 4, w + 3) = -Cells(x + 1, w + 3)
Cells(x + 4, w + 4) = a * E / 1 * sensen + 12 *
E * G / 1 / 1 / 1 * coscos
Cells(x + 4, w + 5) = -Cells(x + 1, w + 5)
Cells(x + 5, w) = Cells(x, w + 5)
Cells(x + 5, w + 1) = Cells(x + 2, w + 1)
Cells(x + 5, w + 2) = 2 * E * G / 1
Cells(x + 5, w + 3) = Cells(x + 2, w + 3)
Cells(x + 5, w + 4) = Cells(x + 2, w + 4)
Cells(x + 5, w + 5) = 4 * E * G / 1
'1
For t = 1 To r
For j = 1 To r
If Cells(x - 1, 16) = Cells(5, t + 24) And
Cells(x, 15) = Cells(j + 5, 24) Then
Cells(j + 5, t + 24) = Cells(j + 5, t + 24) +
Cells(x, w)
End If
Next j
Next t
'2
For t = 1 To r

```

```

For j = 1 To r
If Cells(x - 1, 17) = Cells(5, t + 24) And
Cells(x, 15) = Cells(j + 5, 24) Then
Cells(j + 5, t + 24) = Cells(j + 5, t + 24) +
Cells(x, w + 1)
End If
Next j
Next t
'3
For t = 1 To r
For j = 1 To r
If Cells(x - 1, 18) = Cells(5, t + 24) And
Cells(x, 15) = Cells(j + 5, 24) Then
Cells(j + 5, t + 24) = Cells(j + 5, t + 24) +
Cells(x, w + 2)
End If
Next j
Next t
'4
For t = 1 To r
For j = 1 To r
If Cells(x - 1, 19) = Cells(5, t + 24) And
Cells(x, 15) = Cells(j + 5, 24) Then
Cells(j + 5, t + 24) = Cells(j + 5, t + 24) +
Cells(x, w + 3)
End If
Next j
Next t
'5
For t = 1 To r
For j = 1 To r
If Cells(x - 1, 20) = Cells(5, t + 24) And
Cells(x, 15) = Cells(j + 5, 24) Then
Cells(j + 5, t + 24) = Cells(j + 5, t + 24) +
Cells(x, w + 4)
End If
Next j
Next t
'6
For t = 1 To r
For j = 1 To r
If Cells(x - 1, 21) = Cells(5, t + 24) And
Cells(x, 15) = Cells(j + 5, 24) Then
Cells(j + 5, t + 24) = Cells(j + 5, t + 24) +
Cells(x, w + 5)
End If
Next j
Next t
'7
For t = 1 To r
For j = 1 To r
If Cells(x - 1, 16) = Cells(5, t + 24) And Cells(x
+ 1, 15) = Cells(j + 5, 24) Then
Cells(j + 5, t + 24) = Cells(j + 5, t + 24) +
Cells(x + 1, w)
End If
Next j
Next t
'8
For t = 1 To r
For j = 1 To r
If Cells(x - 1, 17) = Cells(5, t + 24) And Cells(x
+ 1, 15) = Cells(j + 5, 24) Then
Cells(j + 5, t + 24) = Cells(j + 5, t + 24) +
Cells(x + 1, w + 1)
End If
Next j
Next t
'9
For t = 1 To r

```

```

For j = 1 To r
If Cells(x - 1, 18) = Cells(5, t + 24) And Cells(x
+ 1, 15) = Cells(j + 5, 24) Then
Cells(j + 5, t + 24) = Cells(j + 5, t + 24) +
Cells(x + 1, w + 2)
End If
Next j
Next t
'10
For t = 1 To r
For j = 1 To r
If Cells(x - 1, 19) = Cells(5, t + 24) And Cells(x
+ 1, 15) = Cells(j + 5, 24) Then
Cells(j + 5, t + 24) = Cells(j + 5, t + 24) +
Cells(x + 1, w + 3)
End If
Next j
Next t
'11
For t = 1 To r
For j = 1 To r
If Cells(x - 1, 20) = Cells(5, t + 24) And Cells(x
+ 1, 15) = Cells(j + 5, 24) Then
Cells(j + 5, t + 24) = Cells(j + 5, t + 24) +
Cells(x + 1, w + 4)
End If
Next j
Next t
'12
For t = 1 To r
For j = 1 To r
If Cells(x - 1, 21) = Cells(5, t + 24) And Cells(x
+ 1, 15) = Cells(j + 5, 24) Then
Cells(j + 5, t + 24) = Cells(j + 5, t + 24) +
Cells(x + 1, w + 5)
End If
Next j
Next t
'13
For t = 1 To r
For j = 1 To r
If Cells(x - 1, 16) = Cells(5, t + 24) And Cells(x
+ 2, 15) = Cells(j + 5, 24) Then
Cells(j + 5, t + 24) = Cells(j + 5, t + 24) +
Cells(x + 2, w)
End If
Next j
Next t
'14
For t = 1 To r
For j = 1 To r
If Cells(x - 1, 17) = Cells(5, t + 24) And Cells(x
+ 2, 15) = Cells(j + 5, 24) Then
Cells(j + 5, t + 24) = Cells(j + 5, t + 24) +
Cells(x + 2, w + 1)
End If
Next j
Next t
'15
For t = 1 To r
For j = 1 To r
If Cells(x - 1, 18) = Cells(5, t + 24) And Cells(x
+ 2, 15) = Cells(j + 5, 24) Then
Cells(j + 5, t + 24) = Cells(j + 5, t + 24) +
Cells(x + 2, w + 2)
End If
Next j
Next t
'16
For t = 1 To r

```



```

For j = 1 To r
If Cells(j + 5, t + 24) = "" Then
Cells(j + 5, t + 24) = 0
End If
Next j
Next t
Sheets("Matriz de Rigidez").Select
End Sub
Sub matrizestructura()
' matrizestructura Macro
Sheets("Calculos").Select
Sheets("Matriz de Rigidez").Select
'Nodos
t = Cells(5, 13)
'Barras
u = Cells(5, 14)
m = u * 7
'GDL
r = 3 * Cells(5, 13)
'llenando matriz de rigidez
Sheets("Calculos").Select
Cells(9, 5) = "Matriz de Rigidez"
Cells(9, 5).Select
Selection.Font.Bold = True
For i = 1 To r
For j = 1 To r
Sheets("Matriz de Rigidez").Select
a = Cells(i + 5, 24 + j)
Sheets("Calculos").Select
Cells(i + 10, j + 4) = a
Next j
Cells(9, r + 8).Select
Selection.Font.Bold = True
For i = 1 To t * 3
Sheets("Matriz de fuerzas").Select
a = Cells(i + 17, 29)
Sheets("Calculos").Select
Cells(i + 10, r + 8) = a
Next i
w = v - 1
'inversión de matriz
Cells(r + 13, 5) = "Matriz de rigidez inversa"
Range(Cells(r + 14, 5), Cells(13 + r + v, v + 4)).Select
Selection.FormulaArray = "=MINVERSE(R[" & (-3 - r) & "]C:R[" & (-3 - r + w) & "]C[" & (w) & "]"")"
Cells(r + 13, 3) = "Matriz de fuerzas nodales"
For i = 1 To v

```

```

Next i
'llenando matriz de fuerzas
o = 0
Sheets("Calculos").Select
Cells(9, 3) = "Matriz de Fuerzas"
Cells(9, 3).Select
Selection.Font.Bold = True
For i = 1 To t * 3
Sheets("Matriz de fuerzas").Select
a = Cells(i + 17, 30)
If a = "" Then
a = Cells(i + 17, 28) & "?"
o = o + 1
End If
Sheets("Calculos").Select
Cells(i + 10, 3) = a
Next i
Sheets("Calculos").Select
'número de reacciones desconocidas
Cells(3, 10) = o
'número de desplazamientos desconocidos
Cells(4, 10) = t * 3 - o
v = Cells(4, 10)
'llenando matriz de desplazamientos
Sheets("Calculos").Select
Cells(9, r + 6) = "Matriz de desplazamientos"
Cells(9, r + 6).Select
Selection.Font.Bold = True
For i = 1 To t * 3
Sheets("Matriz de fuerzas").Select
a = Cells(i + 17, 33)
Cells(i + r + 13, 3) = Cells(i + 10, 3) - Cells(i + 10, 4 + r + 4)
Next i
'Multiplicando matriz inversa por la matriz de fuerza para obtener desplazamientos
Cells(r + 13, v + 6) = "Desplazamientos calculados"
For i = 1 To v
u = 0
p = 1
For j = 1 To v
u = Cells(j + r + 12 + p, 3) * Cells(i + r + 13, 4 + j) + u
Next j
Cells(i + r + 13, v + 6) = u
p = p + 1
Cells(i + r + 13, v + 7) = Cells(i + 10, r + 6)
Next i

```

```

If a = "" Then
a = Cells(i + 17, 32) & "?"
End If
Sheets("Calculos").Select
Cells(i + 10, r + 6) = a
Next i
'Indices de la matriz
Sheets("Calculos").Select
For i = 1 To r
Sheets("Matriz de Rigidez").Select
a = Cells(5, i + 24)
Sheets("Calculos").Select
Cells(10, i + 4) = a
Cells(10, i + 4).Select
Selection.Font.Bold = True
Next i
Sheets("Calculos").Select
For i = 1 To r
Sheets("Matriz de Rigidez").Select
a = Cells(5 + i, 24)
Sheets("Calculos").Select
Cells(10, 2) = a
Cells(i + 10, 2).Select
Selection.Font.Bold = True
Next i
'Matriz de fuerzas de empotramiento
Sheets("Calculos").Select
Cells(9, r + 8) = "Matriz de Fuerzas de empotramiento"

```

```

'multiplicando matriz de rigidez por los desplazamientos para encontrar reacciones
Cells(r + 13, v + 6) = "Reacciones calculadas"
For i = 1 To o
u = 0
p = 1
For j = 1 To v
u = Cells(10 + v + i, j + 4) * Cells(j + r + 13, v + 6) + u
Next j
Cells(i + r + v + 3 + 10, v + 6) = u + Cells(i + 10 + v, r + 8)
p = p + 1
Cells(i + r + v + 3 + 10, v + 7) = Cells(i + 10 + v, 3)
Next i

```

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Empresas Socias

AGUAS ANDINAS S.A.

AGUAS NUEVAS S.A.

ALSTOM CHILE S.A.

ANGLO AMERICAN CHILE LTDA.

ANTOFAGASTA MINERALS S.A.

ARCADIS CHILE S.A.

ASOCIACIÓN DE CANALISTAS SOCIEDAD DEL CANAL DE MAIPO

BESALCO S.A.

CÍA. DE PETRÓLEOS DE CHILE COPEC S.A.

COLBÚN S.A.

CyD INGENIERÍA LTDA.

EMPRESA CONSTRUCTORA BELFI S.A.

EMPRESA CONSTRUCTORA GUZMÁN Y LARRAÍN LTDA.

EMPRESA CONSTRUCTORA PRECON S.A.

EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES S.A.

EMPRESAS CMPC S.A.

ENAEX S.A.

ENEL GENERACIÓN CHILE S.A.

FLUOR CHILE S.A.

INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN SIGDO KOPPERS S.A.

JAIME ILLANES Y ASOCIADOS CONSULTORES S.A.

MINERA ESCONDIDA LTDA.

SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A.

SUEZ MEDIOAMBIENTE CHILE S.A.

EMPRESAS DE INGENIERÍA COLABORADORAS

ACTIC CONSULTORES LTDA.

IEC INGENIERÍA S.A.

JRI INGENIERÍA S.A.

LEN Y ASOCIADOS INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

SYNEX INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

ZAÑARTU INGENIEROS CONSULTORES LTDA.



Desde hoy con tus
Tarjetas de Crédito Bci Visa
compra usando tu celular.



VISA | **G Pay**

Cámbiate a Bci    BancoBci

 **Hazte Cliente en Bci.cl**

 Más información en Bci.cl

 **Bci**
seamosdiferentes

Infórmese sobre la garantía estatal de los depósitos en su banco o en www.cmfchile.cl