



Encuentro Internacional de
Educación en Ingeniería ACOE 2014

Nuevos escenarios
en la enseñanza de la ingeniería

Cartagena de Indias, 7 al 10 de octubre de 2014
Centro de Convenciones Cartagena de Indias

LOS SISTEMAS FLOW SHOP SCHEDULING EN LA DIDÁCTICA DE LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA

Nelson Vladimir Yepes González, Néstor Andrés Carreño Fandiño, Braian Silva Urrego
Andrés Felipe Caro González

Universitaria Agustiniiana
Bogotá, Colombia

Resumen

La función de scheduling se fundamenta en la asignación de recursos limitados a tareas a lo largo del tiempo y tiene como finalidad la optimización de uno o más objetivos que incorporan recursos. Los sistemas Flow-Shop-Scheduling son un modelo de planificación de tareas, donde una serie de trabajos consiste a su vez en una serie de tareas que son llevadas a cabo por un conjunto de máquinas que siguen características básicas como que cada máquina realiza una sola tarea y para un trabajo a la vez, las tareas requieren una sola tarea para ser completadas (en caso de no utilizarse la máquina, su tiempo es cero), los trabajos pasan por cada máquina una sola vez y el orden de las máquinas es siempre el mismo. El objetivo es ordenar la secuencia de ingreso de trabajos, cumpliendo con los tiempos requeridos dadas las restricciones, como minimizar el tiempo requerido para completar todos los trabajos, o complejas como terminar la serie justo en la fecha de entrega; considerando todas estas restricciones, el problema de optimización de tiempos presenta una gran complejidad. Esto queda reflejado aún más cuando este procesamiento se realiza para una cantidad N de trabajos a realizar, en una cantidad M de máquinas.

El presente artículo, presenta un problema de secuenciación mediante el algoritmo de Johnson como un sistema flow shop scheduling, que fue aplicado en el aula como didáctica de formación lúdica y activa que permite un mejor discernimiento de los procesos de enseñanza aprendizaje.

Palabras clave: secuenciación; planificación de tareas; lúdica; aprendizaje activo

Abstract

The scheduling function is based on a limited allocation of tasks over time and is aimed at optimizing one or more objectives that incorporate appeals. The Flow-Shop-Scheduling systems are a model of scheduling, where a series of works consists in turn in a series of tasks that are performed by a set of machines that are basic features such that each machine executes a single task for a job at a time, the tasks require only one task to be completed (if not used the machine, your time is zero), the work go through each machine once and the order of the machines is always same. The goal is to sort the input sequence of jobs , meeting the required time given the constraints , such as minimizing the time required to complete all jobs, or complex as to end the series right on the deadline. Considering all these constraints, the optimization problem is a highly complex times. This is illustrated further when this processing is performed for a number N of work to be done in a number M of machines.

This paper presents a problem of sequencing by Johnson's algorithm as a flow shop scheduling system, which was applied in the classroom teaching as playful and active training allows for better insight into the teaching and learning processes.

Keywords: scheduling; flow shop; playful; active teaching

1 Introducción

El problema de secuenciación de tareas en sistemas de producción lineal, flow shop, ha sido un tema de gran importancia en la investigación de operaciones, que busca establecer la programación óptima de trabajos en máquinas dentro de un proceso de producción (Jiménez, 2012). La investigación teórica de scheduling ha venido desarrollándose en los últimos 40 años y ha sido objeto de extensa literatura con técnicas que van desde reglas de despacho (dispatching) no refinadas, hasta algoritmos paralelos de ramificación y poda altamente sofisticados, heurísticas basadas en cuellos de botella (bottleneck based heuristics), y algoritmos genéticos paralelos. Además, dichas técnicas han sido formuladas desde un amplio espectro de investigadores, desde científicos de gestión, hasta expertos en producción (Peña y Zemelzu, 2006). Santos (2007), ejemplifica el sistema flow shop como un taller donde las máquinas están dispuestas de manera que el flujo de todos los productos que se procesan en ellas es unidireccional. Existen m máquinas y puede haber trabajos que tengan menos operaciones que m . Una de las tareas que comprende la planificación detallada es determinar la secuenciación óptima de artículos en un taller, esta tarea es complicada, debido al carácter combinatorio del problema, solo unos pocos se pueden resolver de forma exacta, como en las líneas de producción bajo sistemas flow shop, donde la secuencia de todos los productos es la misma y en una sola dirección. El problema consistirá en determinar el orden adecuado en el que los diferentes trabajos deben disponerse. El objetivo será minimizar el tiempo total. El algoritmo de Johnson (1954) es la primera heurística conocida para el PFSP, que se basa en la siguiente regla: el trabajo i precede al trabajo j si $\min \{p_{i1}, p_{j2}\} < \min \{p_{j1}, p_{i2}\}$. Este algoritmo proporciona una solución óptima para el PFSP con 2 máquinas y puede generalizarse para el caso general con m máquinas agrupando las m máquinas en dos máquinas "virtuales".

El ingeniero industrial, debe conocer diferentes algoritmos que le permitan optimizar el tiempo de secuenciación y esto se logra mediante un aprendizaje lúdico activo, como una manera diferente a la pedagogía tradicional, ya que identifica el aprendizaje significativo como acción. En este enfoque impera la acción como condición que garantiza el aprendizaje, para Mogollon y Solano (2010), se crea un ambiente de cooperación donde al tiempo que se aprenden nuevos conceptos, se está proponiendo una forma activa y autónoma de aprender, supera el activismo y se convierte en experiencia de aprendizaje significativo, permite adecuarse en cada lugar para hacerlo pertinente pero sin descuidar el currículo y los saberes universales y convierte al docente en un mediador, un guía que orienta las formas de comunicación y jalona el desarrollo de capacidades y la construcción de conocimientos. El aprendizaje se desarrolla utilizando el algoritmo de Johnson, planteando un problema de secuenciación que mediado por el uso de legos y el conocimiento previo, se le pide a un grupo de estudiantes realizar la experimentación práctica en el aula, para después compararlo con los resultados del sistema informático LEKIN® – Flexible Job-Shop Scheduling System, por último se analizan los resultados y se exponen las conclusiones.

2 Tipo de investigación

La investigación realizada es descriptiva porque describe, registra, analiza e interpreta la naturaleza del estado del sistema de secuenciación flow shop bajo el algoritmo de Johnson y es exploratoria porque permite aplicar los conceptos en un ambiente de formación y observar el comportamiento de los sucesos que allí se presentan.

3 Antecedentes teóricos

La programación puede definirse como la asignación de recursos durante un periodo de tiempo para llevar a cabo una serie de tareas (Gupta, Bala & Sharma, 2012). El objetivo es especificar una programación que determine cuándo y en qué máquina cada trabajo se va a ejecutar. Kaur M, et al, (2013), define que los primeros resultados para el problema de programación se introdujeron por Johnson con el fin de minimizar el tiempo de inactividad total de las máquinas. Además, se encuentran otros trabajos como los de Jackson. J. R (1957), (el trabajo desarrollado por Ignall y Scharge (1964) quien aplica las técnicas de ramificación para resolver problemas de programación flow shop, Combell (1970), Yoshida y Hitomi (1979) considera aún más el problema con los tiempos de preparación. Yang and Chern (2000) extenderían el problema a dos máquinas, Maggu y Das (1981) trabajarían un problema de secuenciación de $3 \times n$ (de tres máquinas por n -trabajos) en la que se asumen los tiempos de transporte de los puestos de trabajo de una máquina a una máquina subsecuente para los n puestos de trabajo.

4 Sistema flow shop

Para explicar al lector como funciona un sistema Flow Shop secuencial, en primer lugar se deben originar unos supuestos que definen el modelo, como que las máquinas estén disponibles todo el tiempo, los trabajos estén disponibles en el tiempo 0, o al inicio del proceso, no existe división de los trabajos, los trabajos no tienen interrupción, los tiempos de proceso se conocen, se conocen los tiempos de preparación, el problema consistirá en determinar el orden adecuado en el que los diferentes trabajos deben disponerse y el objetivo será minimizar el tiempo total C_{max} .

5 Práctica lúdico-activa de Scheduling basado en el Algoritmo de Johnson

Se cuenta con una planta de ensamble de vehículos, donde se diseñaran 4 modelos (Gráfico No.1)

Gráfico No.1. Vehículos para ensamble



Fuente: Práctica laboratorio scheduling, Uniagustiniana (2014)

La fábrica debe ensamblar un vehículo de cada tipo $J00_0^2$, y determinar el tiempo estándar de procesamiento en cada una de las máquinas M , que en este caso son los operarios de ensamble (estudiantes), así como encontrar el ordenamiento de la producción que reduzca el tiempo total de producción. Existe un modelo de cada vehículo como guía, donde los estudiantes por habilidad de pensamiento superior (método de comparación), corroboran cualquier tipo de defecto en el armado. Se han establecido 3 puestos de trabajo, donde los estudiantes participan en el rol de máquina - operario. Cada puesto de trabajo cuenta con la identificación de material para la elaboración del producto y un cronómetro en el cual se registra el tiempo de cada cambio de estado de la máquina, y desarrollar la matriz de tiempos (Gráfico No.2). El primer puesto de trabajo consiste en el ensamble del chasis y motor, el segundo ensambla la cabina, y el tercero ensambla llantas y accesorios.

Gráfico No.2. Alistamiento del material



Fuente: Práctica laboratorio scheduling, Uniagustiniana (2014)

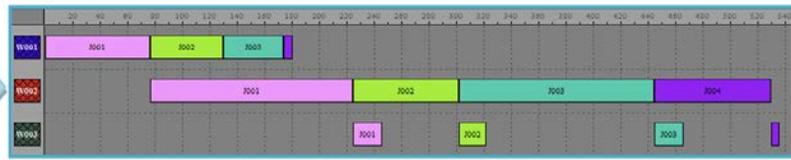
Para minimizar el tiempo de duración del taller se trabaja con un solo grupo. Donde existe un total de 4 personas, en el que se establece el rol de 3 máquinas y 1 operario. Posteriormente se realiza la presentación de la actividad y se explican los conceptos básicos de investigación de operaciones relacionados con el tema de secuenciación. Se establecen los objetivos que se pretenden con la actividad y se pasa a identificar los puestos de trabajo y sus actividades. Cada uno de los asistentes practica en la elaboración de un prototipo para determinar cuál de las tareas se le facilita para desarrollar. Después de varios intentos el operario asigna las tareas a cada máquina según el flujo propuesto. Una vez organizados los puestos y recibida la inducción para realizar la tarea, el coordinador activa el cronómetro general.

En este caso utilizan la regla FCFS (primeros en entrar primeros en salir) como base de comparación y se toman varias mediciones para establecer un tiempo medio por máquina. Con esto se construye la matriz de tiempos del modelo. Obteniendo así tabla No.1.

Tabla No.1. Matriz de tiempos para cada modelo

	M1	M2	M3
J001	77	148	21
J002	53	77	20
J003	44	143	21
J004	7	85	6

Tabla 1(Matiz de tiempos seg)



(Diagrama de Gantt FCFS)

Fuente: Práctica laboratorio scheduling, Uniagustiniana (2014)

Se realizan preguntas para motivar la reflexión y participación de los estudiantes, refiriéndose a las maquinas, ¿cuánto tiempo cree que estuvo inactivo?, ¿se presentan cuellos de botella?, ¿qué pasaría si la producción aumenta, utilizaría el mismo orden?, ¿cuánto cuesta probar otra configuración? Se ilustra la secuenciación por medio del diagrama de Gantt donde los estudiantes ayudan a construir con los datos obtenidos por el operario. Con esto se comprueba el tiempo muerto de cada máquina y el tiempo total de producción. En cuanto a la variable de medición escogida para C_{max} se obtiene una cifra de 536 segundos para este caso.

Luego de discutir las anteriores preguntas, se concluye que para tomar una decisión acertada se necesita de mediciones y control constante de la línea de producción integrando temáticas vistas en clases (investigación de operaciones, administración de la producción, tablas de control).

Ahora se exponen diferentes reglas de secuenciación y se aclara su variabilidad respecto a los objetivos de medición (Gráfico No.3.). Se presenta un video que expone el método de Johnson y como funciona con un problema de dos máquinas y se les explica cómo se aplica en un ejercicio de tres máquinas, a continuación se pide al operario que intente aplicar el método.

Gráfico No.3. Lúdica activa scheduling en laboratorio



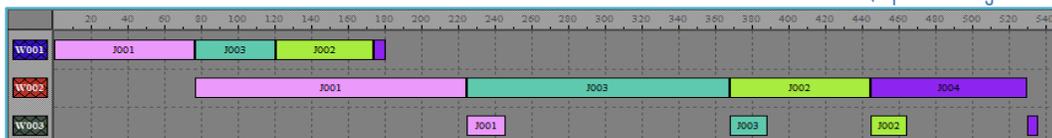
Fuente: Práctica laboratorio Uniagustiniana

Se genera la siguiente tabla y una nueva secuencia, donde teóricamente los datos a obtener deberían mejora la variable de medición (Tabla No.2).

Tabla No.2. Nuevo modelo de secuenciación

	W001	W002	W003		M'1	M'2		Nuevo ORDEN
J001	77	148	21	Se suman M1+M2, M2+M3 para generar 2 virtuales.	225	169	Se selecciona el menor valor. Si pertenece a M'1 se programa de primeras, Si pertenece M'2 se programa de ultimas. (se repite la el proceso hasta terminar de secuenciar todos los productos).	J001
J002	53	77	20		130	97		J003
J003	44	143	21		187	164		J002
J004	7	85	6		92	91		J004

(Aplicación Algoritmo de Johnson)



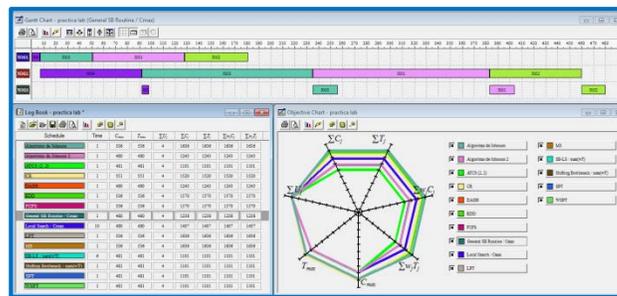
(Diagrama de Gantt Aplicación Algoritmo de Johnson)

Fuente: Práctica laboratorio Uniagustiniana

Se le pide a los operarios (maquinas) que comprueben y tomen mediciones, aunque el orden cambie el C_{max} sigue siendo 536 segundos. En este caso particular se comprueba que no funciona perfectamente con tres máquinas y se asegura que se puede optimizar.

Ahora que ya entienden la dinámica fundamental de secuenciación, se les presenta un juego en donde se ofrece una vacante al cargo de "gerente de producción". Para aplicar, se les pide que propongan un orden que mejore los datos obtenidos hasta el momento. Uno de los participantes verifica el algoritmo e identifica que los tiempos del producto J004 en las máquinas virtuales son muy cercanos y que al contemplar un margen de error en la toma de los datos, existe la posibilidad de secuenciar la tabla tomando la casilla que se cruza con M1 como la menor. Con este supuesto, el orden cambia obteniendo la secuencia, J004; J001; J003; J002. Con un $C_{max} = 480$ el cual corresponde a una optimización del valor máximo de tiempo de terminación en un 10.45%. A la vez que se les presenta situaciones donde se debe tener en cuenta la importancia relativa del producto, la fecha acordada de entrega del producto, tiempos de alistamiento de máquinas, inventario entre máquinas, maquinas en paralelo, costos asociados, donde se les plantea situaciones complejas, que son necesidades reales que tiene las empresas y requieren de un análisis más detallado de la investigación de operaciones para su solución. Se les presenta la herramienta LEKIN Scheduler con el fin comparar diferentes reglas de secuenciación y su variación en cuanto a los resultados de los varios objetivos de medición, donde se comprueban diferentes secuencias propuestas (Gráfico No. 3), mostrando las diferentes características del programa se pretende encontrar la regla que minimice el C_{max}

Gráfico No.3. Comparación Reglas/Objetivos de medición; LEKIN Scheduling



Fuente: <http://community.stern.nyu.edu/om/software/lekin/>

En los casos donde se sufre una extensión con m máquinas y n trabajos, no existe un procedimiento eficiente que proporcione una solución exacta. Para ello, se utilizan métodos heurísticos, entre los que se encuentran los que utilizan reglas de Despacho. Estas reglas determinan qué trabajo procesar al quedar éste disponible de manera secuencial en el tiempo, en lugar de suponer que todos los trabajos están disponibles. Se establece la prioridad en los trabajos, donde las reglas se derivan a través de análisis de líneas de espera, experimentación y simulación (Tabla No.3).

Tabla No.3 Resultados Comparación Reglas/Objetivos de medición; LEKIN Scheduling

Job	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
J001	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J002	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J003	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J004	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J005	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J006	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J007	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J008	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J009	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J010	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

En este caso particular se introdujeron los datos de la matriz de tiempos (ver tabla 1) y se hizo la simulación de varias reglas, ente los resultados se encuentra que el mínimo valor del Máximo tiempo de terminación $C_{max} = 480$ segundos.

Fuente: <http://community.stern.nyu.edu/om/software/lekin/>

En este contexto el algoritmo de Johnson ajustado es muy útil, aun cuando no es el mejor si se compara otros objetivos de medición como el Tiempo de terminación total/promedio (ΣC_j), Total tardanza promedio (ΣT_j), Total Tiempo promedio ponderado de finalización ($\Sigma w_j C_j$), Tardanza total ponderada/ promedio ($\Sigma w_j T_j$) en los cuales el resultado es 1243 para las medidas anteriores, que representa una disminución de un 20.82%. Se identificó que la heurística General SB Routine/ C_{max} , minimiza en un 21.15% obteniendo un resultado de 1238 segundos. Otro resultado es

observar ATCS (2,2) en el cual C max aumenta a 481 pero se obtiene una disminución del 23.87% con un resultado 1101 segundos. (Los porcentajes anteriores con base a la comparación de los datos en la medición de la regla FCFS).

Por último se concluye que los procesos de formación mediados mediante aprendizajes lúdicos activos que propician la participación de los estudiantes, contribuyen en fortalecer los procesos de enseñanza aprendizaje, donde los estudiantes son constructores del conocimiento y desarrollan habilidades de pensamiento de orden superior. Con esto se cumplen los objetivos propuestos y se cierra con una retroalimentación del taller para genera acciones de mejora.

6 Conclusiones y Recomendaciones

Desde los inicios de la programación de la producción, uno de los objetivos primordiales en los procesos de recepción de trabajos es desarrollar un flujo continuo de producción sin pérdida de tiempos, es el estudio de la secuenciación de trabajos, ¿Cómo deben asignarse los trabajos a diferentes equipos o máquinas para optimizar la producción? Desde el análisis de los sistemas continuos, hasta la búsqueda de un mejor sistema de secuenciación en producciones intermitentes, ha sido el esfuerzo de innumerables investigadores y científicos. La evolución en la investigación de operaciones durante los últimos treinta años, ha traído consigo el estudio de nuevas heurísticas que permiten mejorar los procesos de secuenciación, en especial en aquellos procesos productivos donde se cuenta con múltiples trabajos y múltiples tareas que son desarrolladas por múltiples departamentos. Los sistemas flow shop, han pasado de análisis estáticos a otros análisis dinámicos, donde los procesos de manufactura son flexibles.

Con la llegada de los sistemas computacionales, un problema de secuenciación de la producción puede ser trabajado con múltiples heurísticas, observando su comportamiento, teniendo en cuenta diferentes reglas de despacho. Esta actividad demuestra un agrado en el cambio de la metodología, en donde se centra más en el estudiante, proponen varias temáticas en la cuales pueda desarrollar clases lúdicas para aclarar conceptos. Este es un primer paso para mejorar las propuestas generando contextos cada vez más complejos y cercanos a la realidad. Se requiere refinar los ejercicios para poder aplicar a mayor población y generar mayor impacto.

7 Referencias

Artículos de revistas

- Arias, E., Licero, N, Martínez, D, Rodríguez, A. (2012), "Análisis de mejoramiento en la programación de la Producción de un taller de fabricación de papel y cartón y Derivados" *Ingeniator*, Vol 2, No 4. Universidad de San Buenaventura. ISSN: 2027-9396. En línea: <http://letravirtual.usbctg.edu.co/index.php/ingeniator/article/view/233/0>
- Gupta D, Bala S, Sharma S (2012), "To Minimize The Rental Cost For 3 - Stage Specially Structured Flow Shop Scheduling with Job Weightage", Vol. 2, Issue 3, May-Jun 2012, pp.912-916. ISSN: 2248-9622. En línea: <http://ijarcet.org/wp-content/uploads/IJARCET-VOL-1-ISSUE-7-137-140.pdf>
- Kaur Maneet et al (2013), "Optimal Two Stage Open Shop Scheduling In Which Processing Time, Set Up Time Associated With Their Respective Probabilities" *The Experiment*, 2013 Vol. 15(4), 1084-1089
- Maggu P.L., Das G, Singh M, Singhal M.L. (1981) "On 3xn sequencing problem involving equivalent-job for a job-block with transportation-times of jobs". *Mathematische operations for chung und Statistik. Series Optimization* Vol. 12, Iss. 2.
- Santos G Javier (2007), *Organización de la Producción Planificación de procesos productivos*. Pago, 88. ITecnun, Universidad De Navarra, Donostia, San Sebastián, ISBN 84-607-9050-9. En línea: <http://passthrough.fw-notify.net/static/022408/downloader.html>
- Yang, D.L. and Chern, M.S (2000), "Two-Machine Flowshop Group Scheduling Problem," *Computers and Operations Research*, Vol. 27, No. 10, pp. 975-985

Libros

- González T, Sahni S (1976), "Open shop scheduling to minimize finish time". *J.Assoc. Comput. Machinery*, 23, pag 665-679.
- Ignall E, Schrage L (1964) "Application of the branch and bound technique two some flow shop scheduling problems", Cornell University, Ithaca, New York. En línea: <http://www.rspq.org/pubs/sch.pdf>

- Mogollón Oscar, Solano Marina (2011), "Escuelas activas, apuestas para mejorar la calidad de la educación", <http://www.fhi360.org>, ISBN 0-89492-174-6. En línea: http://www.epdc.org/sites/default/files/documents/Active_Schools_Spanish.pdf
- Yoshida, T. and Hitomi (1979), K., "Optimal Two-Stage Production Scheduling with Setup Times Separated," IIE Transactions, Vol. 11, No. 1, pp. 261-273

Fuentes electrónicas

- Jackson James R (1957), "Networks of waiting lines". University of California. En línea: <http://pages.cs.wisc.edu/~vernon/cs747/papers/57jackson.pdf>
- Jiménez M, Ángela P (2012), "Solución del problema de programación de flow-shop flexible empleando el algoritmo genético de chabeasley", Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ingeniería Industrial. En línea <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesis/textoyanexos/6585J61s.pdf>
- Pena, V., y Zumelzu, L. (2006). Estado del Arte del Taller Programación problema. En línea: <http://www.Alumnos.inf.UTFSM.cl/~vpena/ramos/ili295/ia-jobshop.pdf> [consulta: 25 de Octubre de 2010]
- Pinedo Michael L, Chao Xiuli, Leung Joseph (2002), "Software lekin" <http://community.stern.nyu.edu/om/software/lekin/>

Sobre los autores

- **Nelson Vladimir Yepes González:** Ingeniero Industrial, especialista en Gerencia Financiera, Máster en Diseño, Dirección y Gestión de Proyectos, Docente Facultad de Ingeniería Industrial, Uniagustiniana. valdy08@yahoo.es
- **Néstor Andrés Carreño Fandiño:** Ingeniero macarrónico, Máster en Ingeniería del control industrial, Docente Facultad de ingeniería Industrial, Uniagustiniana. nacf@uniagustiniana.edu.co
- **Braian Silva Urrego:** Estudiante facultad de Ingeniería industrial, Uniagustiniana.
- **Andrés Felipe Caro González:** Estudiante facultad de Ingeniería industrial, Uniagustiniana.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2014 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)