

**UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO**

Nº DE RADICACIÓN: _____

INFORMACIÓN EJECUTORES

Ejecutor 1

Nombre (s):	Germán Alberto
Apellido (s):	Junca Bernal
Código:	20131375048
E-mail:	geraljun@hotmail.com
Teléfono fijo:	N/A
Celular:	312 505 74 17 / 318 554 22 77



Ejecutor 2

Nombre (s):	Remny Juanluis
Apellido (s):	Gómez Ibarra
Código:	20121375086
E-mail:	Remgo200812@hotmail.com
Teléfono fijo:	N/A
Celular:	300 493 2746



INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Título del Proyecto:	Construcción de un Prototipo de Ciclo Rankine Orgánico a Nivel de Laboratorio	
Duración (estimada):	16 semanas	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	
	Prestación y Servicios Tecnológicos	
	Otro	x
Modalidad del Trabajo de Grado:	Producción académica	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Desarrollo tecnológico local e institucional	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Conversión de energías y mecánica de fluidos; ecoingeniería; y educación y comunicación en ciencia y tecnología	
Grupo de Investigación:	"Semillero de Energías Alternativas, SEA"	
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Energías alternativas, maquinas térmicas, termodinámica, diseño mecánico	

INFORMACIÓN PASANTÍA

Nombre de la empresa:	
Dirección:	
Teléfonos:	
Correo electrónico:	
Página Web:	

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Director: (Vo. Bo.)	
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	

PROPUESTA DE PUBLICACIÓN

General

- Diseñar y construir, en su primera etapa, un prototipo a nivel de laboratorio de al menos 20 watt de potencia de salida (generador), con el fin de realizar prácticas investigativas y académicas del ciclo Rankine orgánico (ORC)
- Presentar un artículo del resultado del presente trabajo a una revista indexada en Publindex de COLCIENCIAS mínimo en categoría "C" u otra homologada en el último cuartil del Journal Cítation Reports- JCR.

Específicos

- Definir el tamaño y potencia del prototipo, para que se pueda realizar las prácticas de generación de vapor y rendimiento térmico.
- Seleccionar el fluido orgánico de trabajo más apropiado, teniendo en cuenta aspectos como: tamaño del prototipo, disponibilidad de adquisición, toxicidad, (*GWP-global warning potential*), potencial de agotamiento del ozono (*ODP – ozone depletion potential*), y seguridad para su manipulación y almacenamiento.
- Seleccionar y adquirir los elementos constitutivos del prototipo para comprarlos y adaptarlos (generador de vapor, condensador, bomba, tubería, generador eléctrico, sistema de control, monitoreo, etc).
- Seleccionar una turbina ya sea reutilizada o adaptada (turbo cargador, turbina de aspiradora o dispositivo) o como segunda opción hacer una con la ayuda del prototipado rápido y la micro fundición
- Seleccionar una fuente de energía calórica que simule una de tipo alternativo (Solar, calor residual de procesos, de combustión interna, etc.) y se tendrá en cuenta su disponibilidad en el laboratorio para las practicas.
- Realizar pruebas de funcionamiento y los ajustes necesarios, para un adecuado funcionamiento.

Justificación.

Dar a conocer a la comunidad académica el desarrollo de un sistema energético alternativo (ORC) a nivel prototipo y que les permita realizar prácticas de carácter investigativo y académico. Así mismo se busca despertar el interés por el desarrollo de tecnologías limpias y su difusión.

Los desarrollos logrados desde el Semillero de Energías Alternativas "SEA" y del grupo de investigación en energías alternativas GIEA.UD, tienen como propósito contribuir a mejorar la labor de la Universidad y de la Facultad Tecnológica de la Universidad Francisco José de Caldas como centro de investigación y desarrollo tecnológico. Por ello se propone la publicación de los resultados en la modalidad de artículo científico, de este modo se logrará una mayor difusión del trabajo que se adelantará.

Por otra parte se proyecta presentar el proyecto a la convocatoria de apoyo a trabajos de grado de pregrado, del Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad

Distrital (CIDC), a fin de obtener los rublos que permitan adelantar de manera más propicia la construcción del prototipo; esto resulta viable dado que tanto el semillero SEA como el grupo GIEA.UD, están institucionalizados y registrados en el sistema SICIUD y el grupo GIEA.UD en el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología e Innovación SNCyTI de COLCIENCIAS. Como propósito adicional se espera que la participación en la convocatoria logre una mayor socialización, divulgación y difusión de los resultados de la creación del prototipo.

Estado del arte

Para empezar se seleccionaron 24 artículos académicos para analizarlos, cuyos temas de forma central o parcial, abarcan: el diseño de prototipos de componentes que trabajarían en Ciclos Rankine Orgánicos; Diseño de sistemas de Ciclo orgánicos Rankine completos; Estudios sobre el comportamiento de diversos fluidos de trabajo en sistemas térmicos de Ciclo Rankine Orgánicos modificados o no para trabajar con los primeros ; también sistemas ORC que impliquen el uso de fuentes de calor alternativas y nuevas aplicaciones para sistemas ORC.

El origen de los artículos que en su mayoría fueron escritos entre los años 2011 y 2014, es desde el punto de vista del país donde se llevaron a cabo las investigaciones diverso. Así tenemos entre estos a Suiza, Alemania, Bélgica, Corea del Sur, Pakistán y especial China. Nos inclinamos al fin por estudiar a profundidad solo aquellos artículos que impliquen el diseño de componentes o de sistemas ORC completos al igual que el uso de nuevos fluidos orgánicos para Ciclos Rankine Orgánicos, por ser los más afines a nuestro trabajo el cual es, diseñar y construir un prototipo de sistema de Ciclo Rankine Orgánico y publicar los resultados de la investigación indexada del publimex de Colciencias mínimo en categoría C u otra homologa en el último cuartil de Journal Citation Reports-JCR. Al final analizaremos con mayor profundidad solo 5 de los 24 artículos.

El principal problema que intentan abordar la mayoría de los autores consultados es determinar mediante simulaciones y ensayos de diversa índole las propiedades de diseños ORC alternativos ya sea porque han sido modificados parcial o totalmente. Como lograr Ciclos Rankine orgánicos que puedan operar suministrándoles calor a temperaturas más bajas sin ir en detrimento de la potencia suministrada es también un tema recurrente. Otra cuestión abordada por los investigadores y que guarda relación con el suministro de energía es como aprovechar calores residuales de otros procesos o hacer uso de fuentes de calor abundantes sea potencialmente o de facto para alimentar sistemas térmicos ORC como puede ser el sol o la energía geotérmica y reducir el uso de otras fuentes más contaminantes.

J. Demiere, S. Henchoz y D. Favrat de Zuisa diseñan un prototipo de ciclo Rankine Orgánico en el cual la caldera es remplazada por una bomba de calor al considerar que las calderas dispositivos muy ineficientes que requieren por lo general de combustibles muy contaminantes, este diseño cuenta con un sistema ORC doble con una turbina-compresor un evaporador un condensador y un subevaporador, los tres últimos en paralelo. Los resultados del diseño para usos domésticos con 20 KW de calor de trabajo y una turbina que rota a 200000 rpm y un compresor de 140000 rpm. Es un trabajo sobre diseño de un sistema ORC y sus componentes.

En el trabajo Diseño y Estudio experimental de un Ciclo Rankine Orgánico con una Turbina Radial Utilizando R234fa como fluido de trabajo de Seok Hun kang la idea era diseñar un sistema para producir electricidad a bajas temperaturas, para lo cual se diseñó una nueva turbina mediante técnicas de diseño asistido por computadora utilizando parámetros preliminares de diseño tales como presiones de entrada y salida de 7.32 y 1.78 bares y una velocidad rotacional de 20000 rpm. Después el diseño se acopla a un banco de pruebas donde se ingresa el fluido de trabajo con temperaturas de evaporación al ingreso de 77, 80 y 83°C respectivamente y se miden la temperatura, presión, entalpía, entropía y densidad en el evaporador, entrada y salida de la turbina y a la salida del condensador. Al final la eficiencia del sistema y la potencia eléctrica suministrada son de 78.7% y 32.7 KW.

En el trabajo diseño y generación de un generador de un Ciclo Rankine Orgánico de 1 KW de David Meyer, Choon Wong, Frithjof Engel y la doctora Susan Krumdieck. A diferencia de los trabajos ya citados este diseño cuenta con un sistema de control PID que permite un mejor control del mismo si bien es cierto que también puede ser controlado por un operario sin el uso del PID aunque con un menor grado de eficiencia. El diseño del sistema se hizo mediante iteraciones sucesivas de los efectos de cada componente sobre todo el sistema y por supuesto sobre los demás componentes individualmente. Al final se optó por seleccionar la mayoría de los componentes basados en los cálculos del proceso de diseño iterativo en lugar de construirlos.

Lars J. Brasz y William M. Bilbow en el documento Ranking de Fluidos de Trabajo Para Aplicaciones del Ciclo Rankine Orgánico se toman una serie de fluidos para ORC que son candidatos a reemplazar refrigerantes inflamables, tóxicos y con efectos nocivos sobre la temperatura del planeta. Estas sustancias más amigables con el medio ambiente son; HFC134a, HFC236fa, CFC114, HFC245fa, HCFC123, CFC11 y CFC113, estos muestran en este orden respectivo una mayor eficiencia térmica de la mano de una mayor temperatura crítica. Entre las conclusiones de este trabajo tenemos; Los valores reales de eficiencias térmicas ORC son bajos debidos a la disponibilidad limitada capacidad termodinámica del calor residual; Maximizar la eficiencia térmica para las fuentes de calor sensible conduce a la infrautilización de la corriente de calor residual; Los resultados del estudio también arrojan que es posible que los futuros sistemas ORC se beneficien de futuras investigaciones sobre fluidos de trabajo más ecológicos actualmente disponibles o en desarrollo, que puedan trabajar con altas temperaturas críticas.

Encuesta Tecno-económico de sistemas de Ciclo Orgánico de Rankine (ORC). Sylvain Quoilin, Martijn Van Den Broek, Sebastien Declaye, Pierre Dewallef, Vincent Lemort. Este trabajo aborda el estado actual de los ORC, analizando diferentes factores como mercadeo de sistemas, componentes, costos, manufacturabilidad, configuraciones, compatibilidad, fluidos de trabajo y su selección y las tendencias en sistemas ORC. El estudio arroja conclusiones como que lo ORC comparados con otros ciclos de vapor tradicionales funciona mejor para rangos de potencia moderados y abajas temperaturas así como para aplicaciones en las que se desea aprovechar calores residuales. Este documento también señala entre otras cosas, que mientras las publicaciones sobre las propiedades termodinámicas de los fluidos de trabajo son abundantes, la información sobre el impacto de los fluidos de trabajo en los costos del sistema

o en el tamaño de los componentes es muy escasa, constituyendo así áreas en las que se debe investigar más a fondo.

Como se evidencia en los estudios anteriormente citados no es fácil hacer comparaciones, pues aunque los objetivos de los mismos pueden guardar similitudes como pueden ser determinar las propiedades termodinámicas en diferentes etapas de los diseños o simplemente diseñar a partir de unos parámetros de entrada específicos. Si bien el uso de ecuaciones y graficas características de ciclos Rankin es habitual, los diseños y las investigaciones pueden ser al final demasiado disimiles, el grado de complejidad de las metodologías varia y la información disponible, aunque útil para entender los diferentes modelos individualmente, resulta escasa si de hacer comparaciones profundas entre estudios se trata. Aunque si pueden servir de guía por ejemplo para determinar cómo y en donde es útil realizar mediciones, información teórica sobre los Ciclos Rankine Orgánicos y cómo interactúan con otros ciclos termodinámicos, selección de dispositivos o la presentación de datos y resultados. Pueden ser útiles para el desarrollo del proceso de investigación tomar ideas en cuanto a metodología de los trabajos consultados, como determinar el impacto del fluido de trabajo en los costos y el dimensionamiento de los componentes o cual es el desempeño del prototipo cuando se reemplaza el alcohol seleccionado por otro fluido de trabajo.

Temáticas a tratar en el artículo.

- Estado del arte del ORC en la investigación y desarrollo.
- Definición del tamaño y la potencia del prototipo.
- Selección del fluido orgánico de trabajo según las propiedades de GWP y ODP.
- Selección de elementos constitutivos.
- Etapas de desarrollo del prototipo de ciclo Rankine orgánico (ORC).
- Selección de una fuente de energía térmica alternativa.
- Pruebas de funcionamiento, ajuste y operación.
- Resultados del funcionamiento y operación.
- Discusión de los resultados.

Metodología.

Para llevar a cabo el prototipo, de manera inicial se contempla hacer uso del apoyo a trabajos de grado de pregrado, del Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital (CIDC) a modo de obtener un patrocinio económico y así poder hacer un prototipo con piezas sobre medidas y especialmente hechas para ello. De no ser posible acceder al CIDC y poder utilizar sus ayudas, el prototipo será desarrollado a partir de recursos propios y piezas adaptadas que cumplan las mismas funciones, sin que lo anterior reste calidad o funcionalidad al prototipo de ORC.

A parte del tema económico, el proyecto será llevado a cabo de esta manera:

Tamaño y potencia del prototipo ORC.

En primera medida se desea que el prototipo sea capaz de generar la energía suficiente para encender un bombillo de unos 20 watt, y una eficiencia cercana o superior al 20%; con esta información se definirán el tamaño de los componentes, pues la potencia que se busca es la que sea útil para tal propósito.

Selección y pruebas de fluidos de trabajo para el ORC.

La selección y pruebas del fluido de trabajo se harán en primera medida con la información obtenida de la experiencia de otros autores, pues ello simplifica en gran medida esta labor, además con la información del tamaño del prototipo, disponibilidad de adquisición, toxicidad, (GWP-*global warning potential*), potencial de agotamiento del ozono (ODP – *ozone depletion potential*), y seguridad para su manipulación y almacenamiento.

Selección y adquisición de elementos o piezas para su desarrollo.

Para la selección y adquisición de los elementos constitutivos del prototipo se parte de la potencia mínima a generar, y también la información de los principales componentes, ello a modo de buscar su equivalente en el mercado local o desarrollarlos a partir de la tecnología disponible tal como: CNC, prototipado rápido, corte laser, fundición, etc. (En caso de que no se pueda adaptar un turbo compresor, turbina de aspiradoras o similares, se requerirá el proceso de micro fundición a partir de una matriz por prototipado rápido, escalando un modelo ya existente en 3D). Pues si bien algunos de los mismos no existen comercialmente, se pueden fabricar. Otros como lo son controles, sensores, tubos, condensador, evaporador, y demás, se comprarán de manera directa a partir de las características de operación del prototipo, pues estos se encuentran disponibles en muchos tipos y tamaños, lo que resulta útil.

Pruebas con diferentes fuentes de energía renovables.

Se buscarán las fuentes de energía térmica renovables (solar, de residuos de procesos industriales, colores residuales de otros procesos, etc), que no contaminen y que no se estén aprovechando y que se puedan emplear en las prácticas de laboratorio. Una vez identificados se procederá a aplicarles criterios para la selección tales como: disponibilidad, estabilidad, frecuencia en la que se encuentra en el medio, temperaturas a las que están, su forma de transferencia (conductividad, convección y radiación) etc. Por otra parte se tendrá en cuenta las condiciones de manipulación (Se variara a plena carga de fuente calórica y un valor menor a este), tomando en cuenta que no representen un peligro potencial significativo para los usuarios.

Pruebas de ensayo y ajustes.

Las pruebas de ensayo y ajuste se harán en el laboratorio, donde se encontraran puntos críticos de operación (estos puntos críticos serán controlados por seguridad) y puntos óptimos en los que se debe operar el prototipo, pues se tiene claro que hay reducir los riesgos

inminentes en este tipo de dispositivos. Además de ello se hará un análisis exhaustivo para eliminar posibles fallas mediante el uso de instrumentos de medición y control (válvulas de alivio, manómetros, termómetros entre otros) y encontrar los dispositivos de control más propicios. Como elementos complementarios de seguridad del prototipo de ciclo ORC, se colocarán placas informativas referentes precauciones y sugerencias de operación.

Se aclara que se va a tener los sistemas básicos de control y se va a diseñar el sistema de automatización para ser implementado a futuro, es decir los puntos de acople y ensamble se dejarán previstos, esto debido al presupuesto. La ubicación final del equipo sería el laboratorio de ciencias térmicas u otro donde disponga la coordinación del laboratorio de mecánica y su espacio menor a 2 metros cuadrados.

Publicación de resultados

El resultado del presente trabajo se presentará a una revista indexada en Publindex de COLCIENCIAS mínimo en categoría "C" u otra homologada en el último cuartil del Journal Cítation Reports- JCR.

Líneas de investigación del proyecto

Energías limpias.

Termodinámica.

Transferencia de calor.

Maquinas térmicas.

Energías renovables y los termofluidos.

Energía termoeléctrica.

Docente director del proyecto.

MSc. Germán Arturo López Martínez

Director del Semillero de Energías Alternativas de la Universidad Distrital F.J.C. (SEA) y del grupo GIEA.UD

Docente e investigador de planta de la facultad Tecnológica de la Universidad Distrital F.J.C.

Magister en Ingeniería Mecánica, Universidad de Los Andes.

Especialista en Educación en Tecnología, Universidad Distrital F.J.C.

Ingeniero mecánico Universitario Fundación Universidad De América.

Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	SEMANA															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Selección de una fuente de energía térmica	■	■														
Definición del tamaño y la potencia		■	■	■	■											
Selección del fluido orgánico de trabajo					■	■										
Selección de elementos constitutivos						■	■	■	■							
Construcción del prototipo							■	■	■	■	■	■	■			
Pruebas de funcionamiento, ajuste y operación													■	■		
Elaboración del artículo	■			■			■			■			■	■	■	■
Revisión y evaluación del artículo				■				■				■				■
Revisión y evaluación del prototipo							■	■	■	■	■	■	■			

Costos

CONCEPTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Fluido de operación	-	\$ 50.000	\$ 50.000
Bomba	1	\$ 100.000	\$ 100.000
Caldera	1	\$ 200.000	\$ 200.000
Turbina	1	\$ 200.000	\$ 200.000
Evaporador	1	\$ 250.000	\$ 250.000
Condensador	1	\$ 100.000	\$ 100.000
Manómetro(s)	-	\$ 200.000	\$ 200.000
Termómetro(s)	-	\$ 120.000	\$ 120.000
Válvula(s)	-	\$ 120.000	\$ 120.000
Válvula(s) de seguridad		\$ 100.000	\$ 100.000
Botonería	-	\$ 50.000	\$ 50.000
Tubería	-	\$ 200.000	\$ 200.000
Soldaduras	-	\$ 50.000	\$ 50.000
Mano de obra		\$ 300.000	\$ 300.000
Imprevistos		\$ 200.000	\$ 200.000
		TOTAL	\$ 2'240.000

Bibliografía

- J. Demierre*, S. Henchoz, D. Favrat. Prototype of a thermally driven heat pump based on integrated Organic Rankine Cycles (ORC) 2013.
- S. Hun Kang. Design and experimental study of ORC (organic Rankine cycle) and radial turbine using R245fa working fluid 2011.
- D. Meyer, C. Wong, F. Engel, Dr. S. Krumdieck. Design and Build of a 1 Kilowatt Organic Rankine Cycle Power Generator 2013.
- S. Quoilin , M. Van DenBroek , S. Declaye a, P. Dewallef, V. Lemort. Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems 2012.
- L. J. Brasz , W. M. Bilbow. Ranking of Working Fluids for Organic Rankine Cycle Applications 2004.