

Colima, Martes 4 de Octubre 2022.

BLOG CIENTIFICO SOBRE LA TECNOLOGIA DEL CONCRETO.

ARTICULO CIENTÍFICO N°1 : SISTEMAS DE AMASADO DEL CONCRETO.

9 páginas.

Este estudio empezó en 2019 y sigue su desarrollo todavía, y tiene como objetivo ofrecer al mercado (productores de concreto y usuarios del concreto) de México la situación actual al nivel mundial de los conocimientos sobre la tecnología del amasado del concreto, tanto en su aspecto técnico que económico. En efecto, a pesar que el concreto sea al nivel mundial el primer material producido por el hombre en m³ por persona, el aumento y diversificación de su producción desde hace 50 años no ha sido acompañado de investigaciones científicas en la misma proporción.

O sea, cuales son los sistemas de amasado del concreto, y cuales son sus diferencias; Revolvedora Olla, Revolvedora Tilt, Mezclador Twin-shaft (uno dos ejes horizontales), Mezclador Planetario, Mezclador Ring-pan, y cuáles son los parámetros de control y de precisión.

Además, México siendo un país donde no existe una investigación de base sobre la fabricación y el uso del concreto, nos pareció útil sino indispensable, dar a conocer que es el concreto ([Parte n°1](#)), cuales son las diferencias entre los sistemas de amasado y sus controles ([Parte n°2](#)), como escoger su mezclador (Parte n°3), y cuáles son las soluciones prácticas para ahorro el cemento (Parte n°4).

La totalidad del estudio es disponible en modo abierto ([Ficha 2.17.-Concepto de ciencia abierta](#)) en www.BANDOLLA.com, se basa en comunicaciones científicas (tesis, artículo, libro, curso), así que el centro de investigación de LIEBHERR Concreto en Alemania quien ha llevado a cabo simulaciones matemáticas de calidad científica (DEM, Discrete Element Method) desde 2019.

El objetivo de este artículo no es de relatar el contenido del estudio pero solo de descartar los descubrimientos de interés para el productor de concreto contestando a las siguientes cuestiones técnicas :

1. Cual es la relación entre el sistema de amasado y la calidad del concreto ¿
2. No será demasiado costoso y lento utilizar un mezclador para fabricar el concreto ¿
3. Es cierto que la Revolvedora (hormigonera, o “olla) esta satisfactoria para amasar los concretos de relativamente baja resistencia ¿
4. Es diferente el concreto hecho por la Revolvedora fija tipo Tilt en comparación con el concreto mezclado por la Revolvedora móvil tipo Olla ¿
5. En la producción de prefabricado donde se utiliza casi siempre un mezclador (y no una revolvedora) Planetario, si este tipo de mezclador es la tecnología más avanzada al nivel mundial ¿

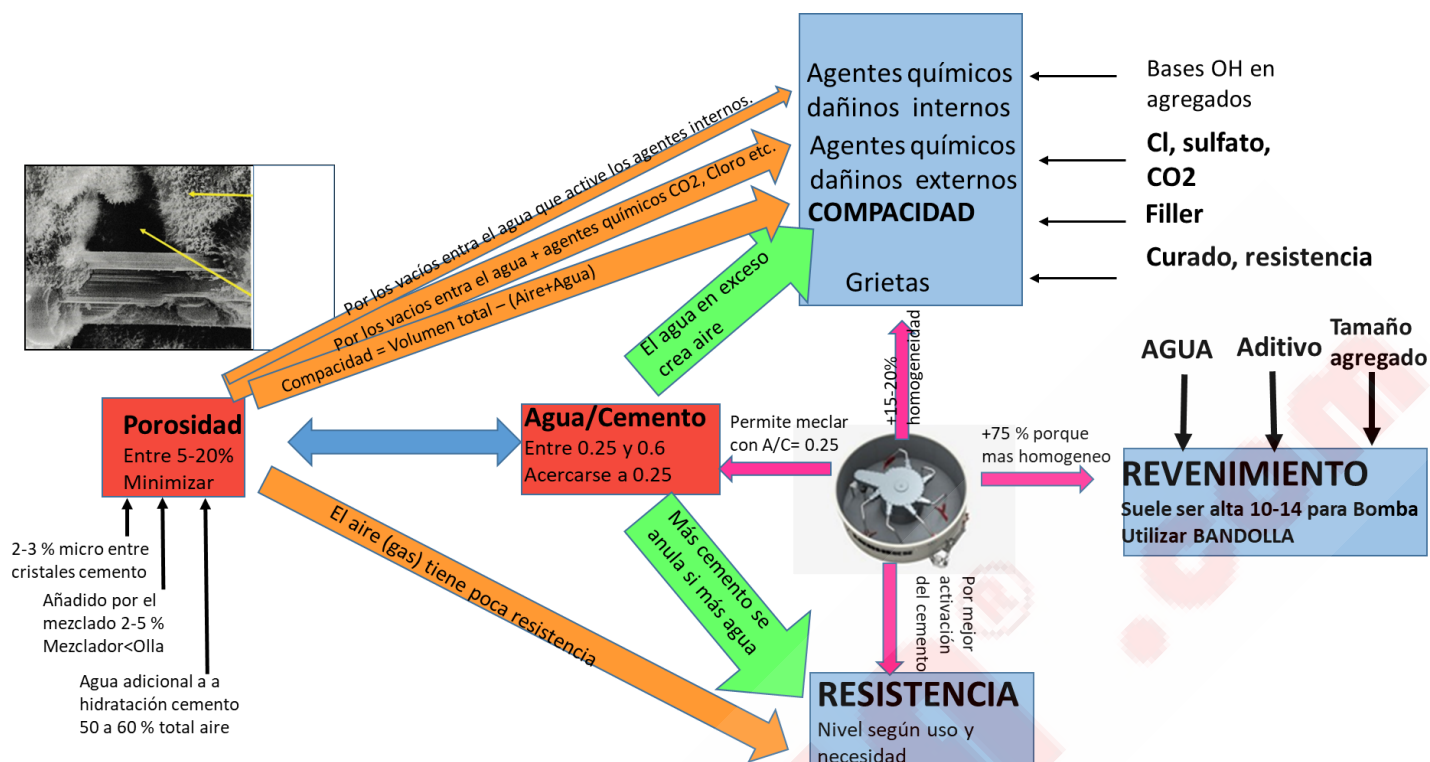
Para hacerlo corto, describiremos solo los resultados, sabiendo que encontrarán las pruebas científicas y otros materiales (como programas que dan el consumo de cemento según el sistema de amasado así que análisis financieras de rentabilidad) en www.BANDOLLA.com

El amasado significa el mezclado adecuado de los componentes del concreto para preparar la reacción química entre el cemento (polvo) y el agua (líquido), dentro de su ganga de agregados y arena (sólidos), a fin de obtener una pasta homogénea.

El término de amasado es más específico que mezclar porque esta acción puede aplicarse para líquido o sólido, y no precisa la obtención de una pasta, lo que es el concreto fresco.

1. SI, EL TIPO DE AMASADO TIENE INFLUENCIAS EN TODOS LOS ASPECTOS DE LA CALIDAD Y PATOLOGÍAS DEL CONCRETO :

1.1. Diagrama que resume la relación entre el sistema de amasado (aquí un Ring-pan con un Batidor) y las cualidades del concreto :



2.2. La durabilidad se ha vuelto la cualidad más importante del concreto.

La resistencia a la compresión a 28 días, si no es duradera, ya no es un criterio suficiente, y así las normas están cambiando. La durabilidad se cuantifica por varios criterios; la compacidad o densidad que hay que maximizar, la porosidad (agua o aire) que debe ser minimizada, la conservación de la integridad física (no grieta, no hueco etc.), y la estabilidad química interna.

El sistema de amasado debe permitir utilizar tan poca agua como necesario y consta que hace falta solamente 25 litros de agua para hidratar químicamente 100 kg de cemento o sea un Agua/Cemento=0.25.

El sistema de amasado no debe incorporar aire durante su proceso, siendo lo más intenso posible y lo más rápido posible.

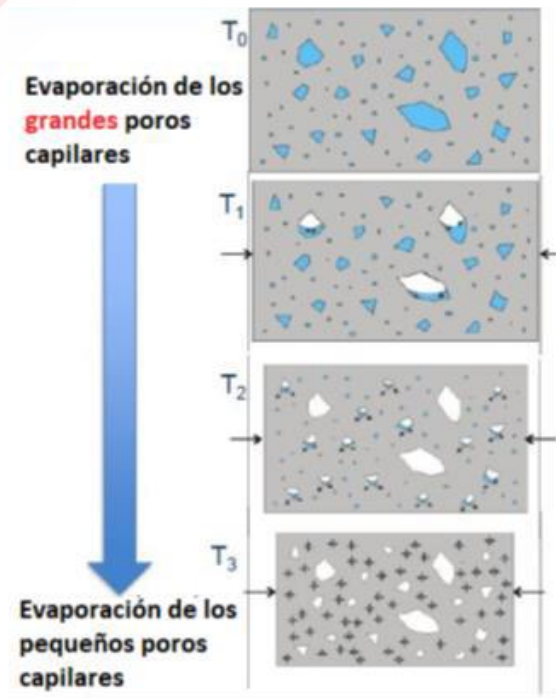
Mientras la norma Mexicana prescribe un tiempo de mezcla por la Revolvedora de mínimo 5 minutos y que cualquier mezclador lo puede hacer en 30 segundos.

1.3. La resistencia a la compresión es la cualidad principal buscada en el concreto para edificar.

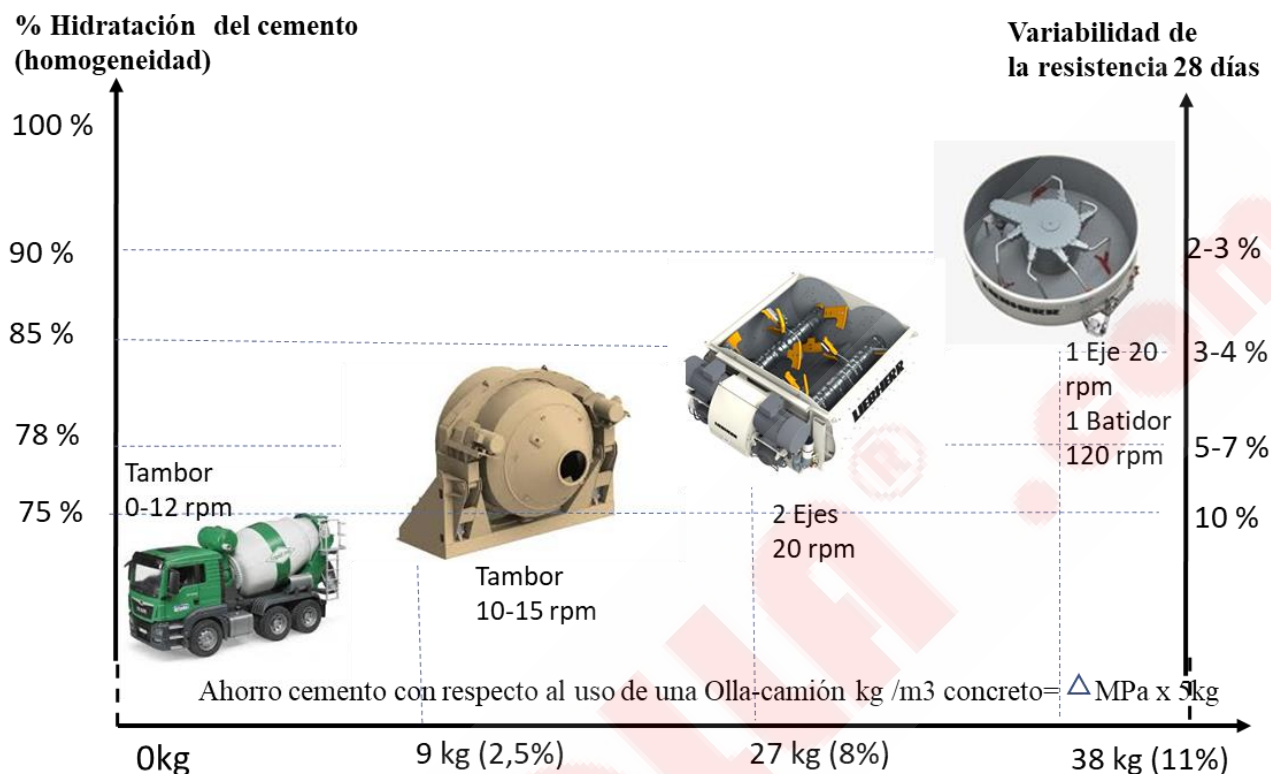
La fórmula que sigue vigente hoy en día para predecir la resistencia es la de Bolomey :

$$f_c = R_{c28} \times G ((C/A)-0.5) \quad \text{Dada en MPa (Mega Pascal, 1 MPa=9.80 kg/cm2)}$$

Donde los dos parámetros que varían es C; kg cemento/m3 y A; agua en litro/m3. Si C sube, la resistencia sube, si A sube, la resistencia baja.



Pero, aquí se trata del cemento realmente hidratado por el agua, de tal manera que según el % de cemento hidratado, lo cual varía según el sistema de amasado, una misma cantidad de cemento en la fórmula dará una resistencia diferente.



1.4. El

revenimiento es una característica buscada no para la calidad del concreto per si, sino para poder fabricar la mezcla, poder transportarla y poder colocarla más fácilmente.

Depende directamente de la fluidez y por lo tanto de la proporción de agua.

Sin embargo, es en total oposición con la calidad del concreto en término de durabilidad y de resistencia.

Por una misma cantidad de agua en la mezcla, un mezclador conseguirá un revenimiento mucho más bajo que una revolvedora.

La explicación es la mayor homogeneidad que permite conseguir un coeficiente de fluidez mayor.

Ver síntesis de la referencia n° 4,

[Ficha 2.1.2](#), :

Muestra	Sistema de mezcla	Concreto objetivo	Agua/cen medida	Revenimiento mm	Porosidad
1	Olla	50 MPa	0.487	190	9.0
2	Olla	50 MPa	0.493	175	8.0
3	Olla	50 MPa	0.477	160	
4	Olla	50 MPa	0.484	140	9.0
5	Mezclador	50 MPa	0.455	210	
6	Mezclador	50 MPa	0.455	210	1.5
7	Mezclador	50 MPa	0.453	205	
8	Mezclador	50 MPa	0.451	200	1.5

1.5. Las patologías son afectadas por el sistema de amasado.

La Revolvedora Olla o Tilt que necesita una proporción de agua alto ($A/C > 0.40$) para poder mezclar por una parte, y por otra parte inyecta aire durante el amasado, crea in fine mucha porosidad ($> 15\%$) que favorece las patologías químicas.

Mientras la falta de homogeneidad de la Revolvedora ($< 90\%$) crea las condiciones favorables a las patologías físicas.

2. EL USO DE UN MEZCLADOR ES RENTABLE A PARTIR DE UN VOLUMEN ANUAL Y RESISTENCIA DE CONCRETO MUY BAJO; VER REFERENCIA N°1.

2.1. Ahorro en cemento utilizando un Mezclador Twin-shaft al lugar de una Revolvedora.

Con una misma cantidad de cemento por m³, el uso de un mezclador permite conseguir una mayor resistencia lo que demuestra que se puede utilizar una cantidad de cemento menor para cumplir con la misma norma de resistencia que la Revolvedora.

Ver síntesis de la referencia n° 4,

[Ficha 2.1.2, :](#)

Muestra	Sistema de mezcla	Concreto objetivo	Agua/cen medida	Revenimiento mm	Porosidad
1	Olla	50 MPa	0.487	190	9.0
2	Olla	50 MPa	0.493	175	8.0
3	Olla	50 MPa	0.477	160	
4	Olla	50 MPa	0.484	140	9.0
5	Mezclador	50 MPa	0.455	210	
6	Mezclador	50 MPa	0.455	210	1.5
7	Mezclador	50 MPa	0.453	205	
8	Mezclador	50 MPa	0.451	200	1.5

AHORRO DE CEMENTO EN USD POR AÑO : producción "baja".

	Volumen m ³ anual				
	1000 m ³	3000 m ³	5000 m ³	7000 m ³	10000 m ³
15 MPa	USD 2,222	USD 6,667	USD 11,111	USD 15,556	USD 22,222
25 MPa	USD 2,976	USD 8,929	USD 14,882	USD 20,835	USD 29,764
30 MPa	USD 2,961	USD 8,883	USD 14,806	USD 20,728	USD 29,611
35 MPa	USD 5,489	USD 16,467	USD 27,444	USD 38,422	USD 54,889
50 MPa	USD 5,756	USD 17,267	USD 28,778	USD 40,289	USD 57,556

* Este ahorro vale también en comparación con planta con Olla Colgada (tipo Tilt).

2.2. Ahorro en inversión de Revolvedora y el Diesel (basado en el tiempo utilizado para mezclar) utilizando un Mezclador Twin-shaft al lugar de una Revolvedora.

COSTO ANUAL DE LA OLLA Y DIESEL PARA MEZCLAR.

	Volumen m ³ anual				
	1000 m ³	3000 m ³	5000 m ³	7000 m ³	10000 m ³
15 MPa	USD 822	USD 2,465	USD 4,109	USD 5,752	USD 8,218
25 MPa	USD 1,150	USD 3,451	USD 5,752	USD 8,053	USD 11,505
30 MPa	USD 1,644	USD 4,931	USD 8,218	USD 11,505	USD 16,435
35 MPa	USD 2,137	USD 6,410	USD 10,683	USD 14,956	USD 21,366
50 MPa	USD 2,465	USD 7,396	USD 12,326	USD 17,257	USD 24,653

2.3. Total de los ahorros (Cemento+Revolvedora+Diesel) utilizando un Mezclador Twin-shaft al lugar de una Revolvedora.

Se estima el costo del mezclador a su amortización anual de 20,000 USD durante 5 años (precio de compra unos 100,000 USD).

La zona en verde es RENTABLE.

Ejemplo; solo para producción de 5,000 m3 de concreto al año de resistencia baja de 260 kg/cm2, el mezclador es rentable.

MEZCLADOR: AHORRO TOTAL ANUAL; CEMENTO+OLLA.

	Volumen m3 anual				
	1000 m3	3000 m3	5000 m3	7000 m3	10000 m3
15 MPa	USD 3,044	USD 9,132	USD 15,220	USD 21,308	USD 30,440
25 MPa	USD 4,127	USD 12,381	USD 20,634	USD 28,888	USD 41,269
30 MPa	USD 4,605	USD 13,814	USD 23,023	USD 32,232	USD 46,046
35 MPa	USD 7,625	USD 22,876	USD 38,127	USD 53,378	USD 76,255
50 MPa	USD 8,221	USD 24,663	USD 41,104	USD 57,546	USD 82,208

3. LA REVOLVEDORA NO VA A SER MEJOR O MÁS RENTABLE PARA BAJA RESISTENCIA QUE PARA OTRAS ALTAS RESISTENCIAS.

3.1. Par el aspecto económico, fabricar con una Revolvedora para un volumen superior a 5,000 m3, tiene un costo superior al mezclador por m3 de concreto, casi cual sea la resistencia del concreto.

3.2. La revolvedora siempre produce un concreto de menor calidad que el concreto amasado con un mezclador, cual sea la resistencia.

Sin embargo, un fabricante se puede satisfacer de un concreto de menor homogeneidad y calidad y de un costo superior, pero la tendencia no es esta.

Recordamos que el Amasado con la Revolvedora es prohibido en la mayoría de los países de Europa y al nivel mundial unos 75 % de los concreteros utilizan un mezclador.

3.3. Demostración de la pobre homogeneidad de la Revolvedora.

[Referencia n°9](#) : simulación LIEBHERR.

Vemos que la homogeneidad del Mezclador es de 90% mientras la de la Revolvedora de solo 60 %.

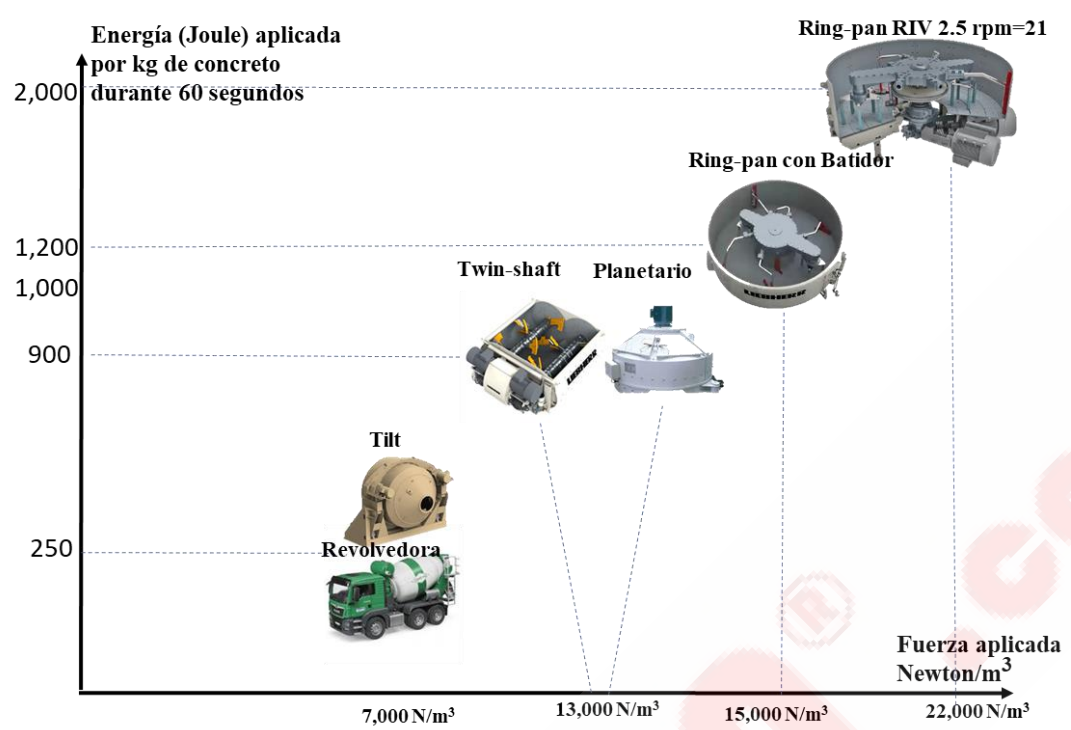


Mixer kind	Twin-Shaft	Drum
Mixer typ	DW 1.00	HTM 905
Illustration		
Mischgutvolumen	1.50 m3	1.50 m3
Mischgüte (homogeneity)		

3.4. Explicación de la eficiencia de los diferentes sistemas de amasado.

Eficiencia crece si la energía aplicada por unidad de concreto crece y la fuerza aplicada es grande.

La Revolvedora utiliza en su mayoría la fuerza de la gravedad (ver [Ficha 2.14.2. Leyes físicas de Newton](#)) que una fuerza débil, lo que explica que solo aplica unos 250 Joule/kg de cemento, mientras un Twin-shaft aplica 900 J/kg y un Ring-pan 1,200 J/kg.



4. CASI NO ES DIFERENTE EL CONCRETO HECHO POR LA REVOLVEDORA FIJA TIPO TILT DEL CONCRETO AMASADO POR LA REVOLVEDORA MÓVIL TIPO OLLA.

Ver Referencia científica n°6, [Ficha 2.8.2. Analisis.](#)

La tesis concluye en un aumento por parte del Tilt de 1.8 MPa de resistencia o sea 1.8x5kg cemento de ahorro, y con una cantidad de 368 kg de cemento/m3, no da un ahorro de 2.5 % de cemento.

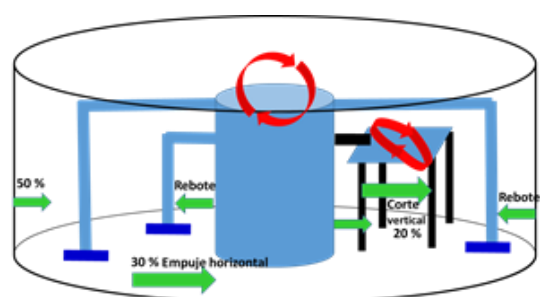


Dosificadora + Revolvedora fija "Tilt". Dosificadora + Revolvedora móvil "Olla".

La tecnología de la Revolvedora "Olla" o Revolvedora "Tilt" es mecánicamente la misma, de allí son las mismas fuerzas que generan el amasado, o sea principalmente la gravedad; el concreto esta "levantado" hasta la cumbre del tambor y cae por gravedad.

La ligera mejoría del Tilt sin embargo no se puede negar y se puede explicar por un aumento de la velocidad de rotación y de la superficie de las aspas.

Sin embargo, es limitada (<3%) en comparación con la mejora de 10 a 20% de ahorro de cemento con un verdadero Mezclador, lo cual utiliza fuerzas dinámicas (en el sentido de la mecánica de Newton) para fomentar el amasado :

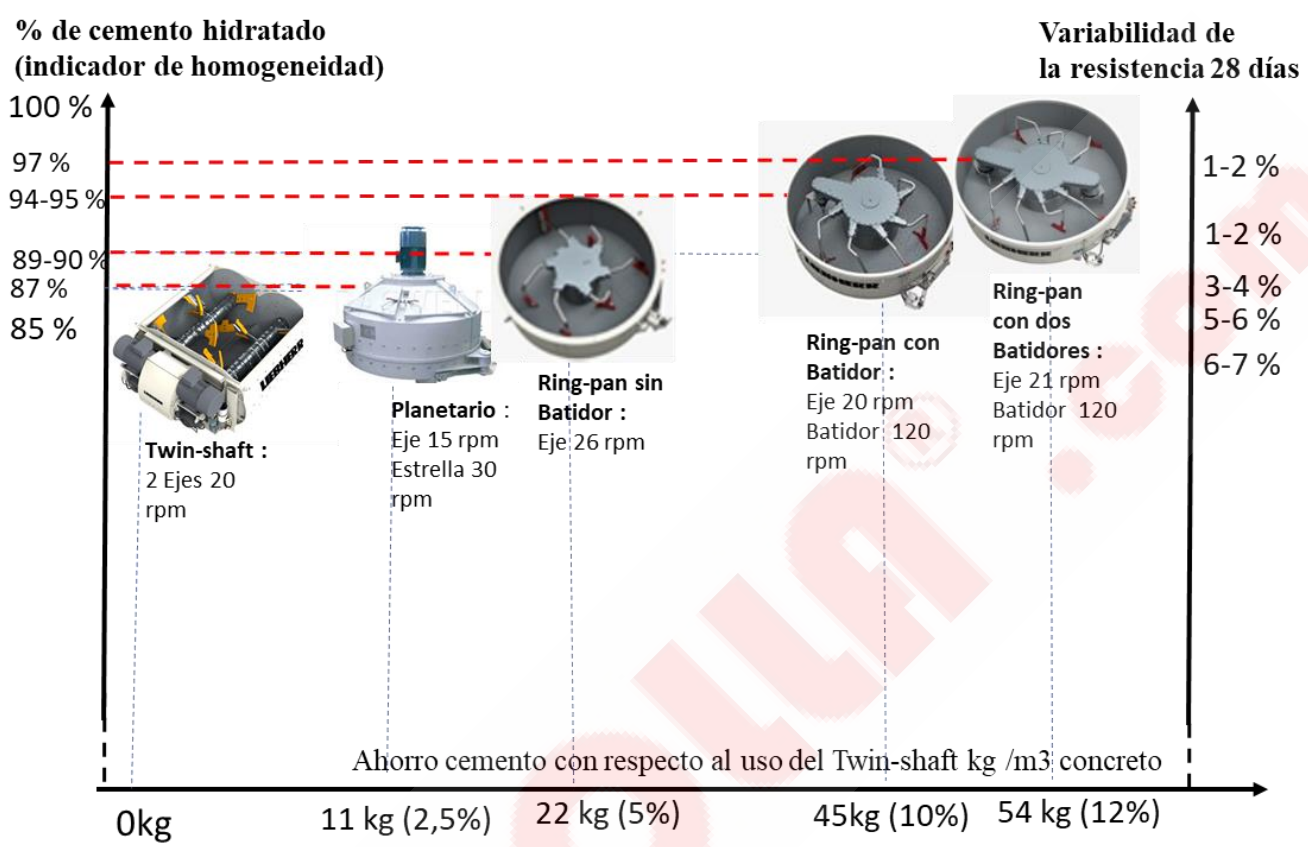


Fuerzas de mezcla de las Revolvedoras.

Fuerzas de mezcla de un Ring-pan;

5. EL MEZCLADOR RING-PAN ES MÁS EFICIENTE QUE EL MEZCLADOR PLANETARIO.

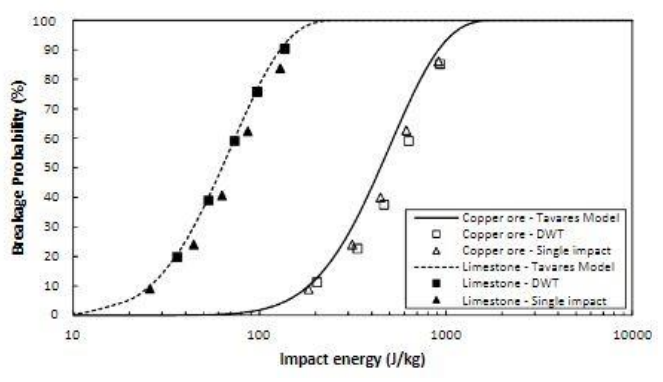
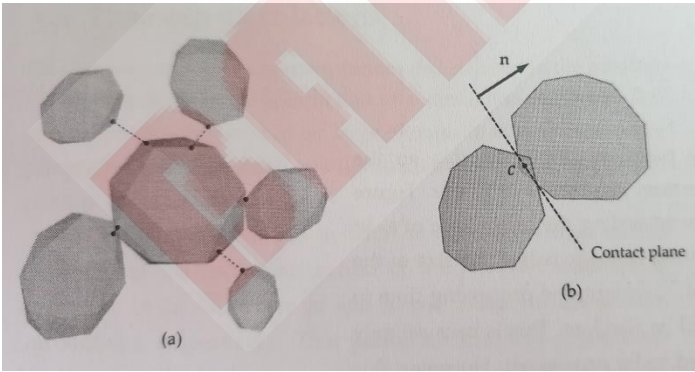
5.1. Mas es eficiente el mezclador, más homogeneiza del concreto, menos cemento consume y menos es la variabilidad (desviación estándar de la medida) de la resistencia.



5.2. Si bien ni el Planetario, ni el Ring-pan utilizan la gravedad para amasar, la naturaleza de las fuerzas aplicadas son diferentes por uno y por el otro.

Referencia n°7 [Ficha 2.9](#) y Referencia n°8 [Ficha 2.10](#) : simulación LIEBHERR.

Una amasado eficiente corresponde a un número de colisiones (choque) por segundo (del orden de 1,000) y depende de la energía total aplicada (Joule/kg) por una parte y de la naturaleza de las fuerzas aplicadas.



Modelización geométrica de los componentes del concreto; se suele utilizar solo dos tipos partículas.

Más la energía (J/kg) se eleva, más la probabilidad sube de poder chocar las partículas entre ellas y así homogeneizar y romper los grumos.

5.3. La modelización (DEM Rocky de LIEBHERR) toma en cuenta la geometría del mezclador y 3 tipos de fuerzas : [ver Ficha 2.14.3. Software científico Rocky de ESSS.](#)

Sistema mezclado	Fuerza motriz	Energía total aplicada Joule/kg mezcla	FUERZAS DE ACCION SOBRE LAS PARTICULAS DEL CONCRETO			
			Gravedad G = 9,8 m/s ²	Empuje horizontal o vertical	Rebote de la pared	Corte vertical (>100 rpm)
			También descubierta por Newton	Newton n°1 : inercia.	Newton n°2 : Acción-reacción	
Número choques de una partícula / segundo			Bajo	Mediano <i>Parte de la energía se pierde en fricción y calor</i>	Alto <i>La reacción de la pared crea una fuerza adicional</i>	Muy alto <i>El batidor alcanzar más partículas</i>
Planetario	15 + 2x30 rpm	900 J/kg	0 %	70 % horizontal	20 %	10 %
Ring-pan con Batidor	20 + 120 rpm	>1,200 J/kg	0 %	30 % horizontal	40 % <i>Tiene del doble de superficie</i>	30 % <i>El batidor pega mas superficie</i>

Conclusión : pueden ver la síntesis en [Ficha 0.3 Estudio Amasado Concreto-Síntesis con diagramas y videos.](#)

No es extraño descubrir que las leyes físicas y químicas comúnmente aceptadas demuestran que hay un grado de eficiencia entre los sistemas de amasado según un aspecto cuantitativo o sea la energía aplicada en Joule/kg de concreto y según el tipo de fuerza aplicada.

Esta graduación de la eficiencia que va desde la revolvedora, que el sistema menos eficiente, hasta el mezclador Ring-pan RIV (con Batidor de velocidad variable a 230 rpm de LIEBHERR) es continua. Explica que no hay una separación ni química, ni física, ni tecnológica entre un concreto para fabricar bloque que tiene poco cemento (menos de 100 kg/m³) y un concreto para fabricar durmiente (hasta 500 kg/m³). De hecho, los problemas de calidad y la problemática económica es muy presente en el bloque mientras que la sobre-dosificación de cemento (para paliar el uso de un sistema de mezclado deficiente) para concretos de más alta resistencia no está siempre percibido por el fabricante.

En fin, el uso de un mezclador es pertinente tanto económicamente que para la calidad del concreto en casi la totalidad de la producción de concreto pre-mezclado, que sea para la venta al público o para la fabricación de prefabricado.

Sin embargo, hemos tomado como un parámetro fijo la tecnología de la planta dosificadora de los componentes del concreto pero será de suma importancia para asegurar una formulación precisa en especial la del agua donde es necesario tomar en cuenta la humedad contenido en los agregados gracias a una sonda en continuo.

Para terminar, la eficiencia del amasado y de la planta dosificadora cada día más se vuelve importante no solo para las finanzas del fabricante.

También, la planta de concreto debe poder cumplir con las normas de contaminación, la primera de ella la huella CO₂, por ello, veremos este aspecto en nuestro próximo artículo.

REFERENCIAS CIENTÍFICAS BÁSICAS :

1. **Libro** : Connaissance du béton, Christine Mary-Dippe et René Osta, Editions CATED, France, 2017.
2. **Curso** : Yves Dénommé, Association du Béton du Québec, Canada, 2019, 471 pág.
3. **Curso** : Matériaux de construction, Université Aboubekr Belkaid, Pr. Fouad Ghomari, Algeria, 2020, 55 pág.
4. **Estudio**; Research on quality differences between ready mix concrete produced using a concrete mixer (wet) and the one produced using direct loading into a transit mixer (dry), Instituto Italiano Per Il Calcestruzzo, Italy, 2008, 100 pág.
5. **Artículo**; Technical and environmental effects of concrete production; dry batch versus central mixed plan, Journal of Cleaner Production, Francia, 2010, 8 pág.
6. **Tesis de Maestría** y **Ficha 2.8.2 Analisis**; Evaluación de la calidad del hormigón producido en plantas de mezcla (Tilt) y el hormigón producido en camiones de hormigón, Michell y Lorena Borges, Universidad Federal de Goias, Escuela de Ingenieria Civil, 2009, 100 pág.
7. **Simulación DEM**; Comparación mezclador Ring-pan sin Batidor versus Planetario, Centro de Investigación LIEBHERR, Alemania, 2020.
8. **Simulación DEM**; Comparación mezclador Ring-pan con Batidor versus Planetario, Centro de Investigación LIEBHERR, Alemania, 2021.
9. **Simulación DEM**; Comparación mezclador Twin-shaft versus Revolvedora, Centro de Investigación LIEBHERR, Alemania, 2021.
10. **Estudio**; Mesure de la teneur en eau dans una malaxeur, Eric Chateau & Bogdan Cazacliu, CETE Normandia, Franci, Fév. 2022, 31 pág.
Concluye la falta de precisión de las sondas de humedad puestas dentro del mezclador.
11. **Tesis de Doctorado** y **Ficha 2.19.2 Resumen en Español**; Optimisation du procédé de malaxage du béton : sui et contrôle, Jaime Moreno Juez, Ecole Central de Nantes, Francia, 2017, 209 pág.
12. **Tesis de Doctorado**; Malaxage des bétons à hautes performances et des bétons auto-placants et Optimisation du temps de fabrication, David Chopin, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Université Gustave Eiffel, Francia, 2003, 211 pág.